



TESIS - SF142502

**ANALISA PENGARUH SUHU PEMBENTUKAN
IKATAN CROSSLINK ANTARA *POLYVINYL
ALCOHOL* DAN *CITIRC ACID* PADA ELEKTRODA
KARBON UNTUK PROSES DESALINASI LARUTAN
NaCl**

Boby Willem Nulik
NRP. 1114201001

Dosen Pembimbing
Endarko, M.Si., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN INSTRUMENTASI
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016



THESIS - SF142502

**ANALYSIS OF THE EFFECT OF VARIOUS CROSS-
LINKING TEMPERATURES FOR CARBON
ELECTRODES PREPARED BY CROSS-LINKING
POLY (VINYL ALCOHOL) WITH CITRIC ACID ON
THE DESALINATION OF NaCl SOLUTION**

Boby Willem Nulik
NRP. 1114201001

SUPERVISOR
Endarko, M.Si., Ph.D.

MAGISTER PROGRAME
STUDY ON INSTRUMENTATION
DEPARTMENT OF PHYSICS
FACULTY OF MATHEMATICS AND NATURAL SCIENCES
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2016


LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Sains (M.Si)
di
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

oleh :
Boby Willem Nulik
Nrp. 1114201001

Tanggal Ujian : 21 Juni 2016
Periode Wisuda : September 2016

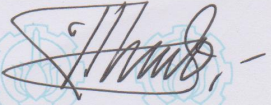
Disetujui oleh :


1. Endarko, M.Si., Ph.D.
NIP: 19741117.199903.1.001

(Pembimbing)


2. Dr. Mashuri, M. Si.
NIP: 19691216 199402.1.001

(Penguji)


3. Dr. rer. nat. Triwikantoro, M.Si.
NIP: 19660114 199002.1.001

(Penguji)

Direktur Program Pascasarjana,




Prof. Ir. Djauhar Manfaat, M.Sc., Ph.D.
NIP. 19601202 198701 1 001

ANALISA PENGARUH SUHU PEMBENTUKAN IKATAN CROSSLINK ANTARA *POLYVINYL ALCOHOL* DAN *CITIRC* ACID PADA ELEKTRODA KARBON UNTUK PROSES DESALINASI LARUTAN NaCl

Nama mahasiswa : Bobby Willem Nulik
NRP : 1114201001
Pembimbing : Endarko, M.Si, Ph.D.

ABSTRAK

Telah berhasil disintesa dan dikarakterisasi elektroda karbon untuk sistem *Capacitive Deionization* (CDI). Elektroda karbon terbuat dari karbon aktif tempurung kelapa dengan binder *Polyvinyl Alcohol* (PVA) dan asam sitrat sebagai agent dengan metode *crosslink*. Elektroda karbon difabrikasi dengan variasi suhu pemanasan yakni 100 (T100), 110 (T110), dan 120°C T(120). Uji FTIR menunjukkan bahwa tidak ada serapan pada gugus OH, hal ini menandakan telah terjadi ikatan silang pada PVA dan asam sitrat. Pengamatan morfologi menggunakan uji SEM EDX dapat merekam kandungan utama pada elektroda adalah unsur C. Perhitungan nilai kapasitansi dari hasil *Cyclic Voltametry* (CV) dengan sweep rate 10 mV/s menunjukkan bahwa elektroda T100 mempunyai nilai spesifik kapasitansi terbesar jika dibandingkan dengan elektroda karbon T120 dan T110 dengan nilainya berturut-turut adalah 227.7, 221.4, dan 209.5 mF/g. Dalam kemampuan mengurangi kadar garam 0.1 M NaCl, elektroda karbon T100 mampu mengurangi kandungan NaCl sebesar 52.71 % sedangkan untuk elektroda T110 diperoleh 35.04% dan pada elektroda T120 memberikan hasil 49.15%.

Kata kunci : *capacitive deionization* (CDI), elektroda karbon, *Polyvinyl Alcohol*.

ANALYSIS OF THE EFFECT OF VARIOUS CROSS-LINKING TEMPERATURES FOR CARBON ELECTRODES PREPARED BY CROSS-LINKING POLY (VINYL ALCOHOL) WITH CITRIC ACID ON THE DESALINATION OF NaCl SOLUTION

Name : Bobby Willem Nulik
Student Identity Number : 1114201001
Supervisor : Endarko, M.si., Ph.D.

Carbon electrodes have successfully been synthesized and characterized for Capacitive Deionization (CDI). Carbon electrodes were prepared by crosslink method with various cross-link temperatures at 100 (T100), 110 (T110), and 120°C (T120) using an activated carbon from coconut shell with Polyvinyl Alcohol (PVA) as a binder and citric acid as a cross-linking agent. Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to prove cross-linking PVA with citric acid. The results showed that there is no absorption in the OH group, it indicates that there has been a crosslinking in PVA and citric acid. Morphological observation using SEM EDX showed the main content in the electrode was C. Calculation of specific capacitance from Cyclic Voltammetry (CV) at sweep rate of 10 mV/s indicates that the electrode T100 has the largest specific capacitance value when compared with carbon electrodes T120 and T110, with specific capacitance value at 227.7, 221.4, and 209.5 mF/g, respectively. The highest salt-removal percentage value of 0.1 M NaCl can be achieved for carbon electrodes T100 at 52.71% whilst resulted in 35.04 and 49.15% for carbon electrodes T110 and T120, respectively.

Keywords: capacitive deionization (CDI), carbon electrodes, Polyvinyl Alcohol.

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xiii

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3

BAB 2 KAJIAN PUSTAKA

2.1 <i>Capacitive Deionization (CDI)</i>	5
2.2 Elektroda Karbon	7
2.2.1 Karbon Aktif	8
2.2.2 <i>Polyvinyl Alcohol</i>	9
2.2.3 Asam sitrat.....	9
2.3 Pengujian Karbon Elektroda	10

2.3.1 <i>Scanning Electron Microscope (SEM)</i>	11
2.3.2 <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	11
2.3.3 <i>Cyclic Voltametry (CV)</i>	15
2.3.4 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	16
2.4 Konduktivitas	17

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur Kerja	19
3.2 Peralatan dan Bahan	20
3.2.1 Peralatan	20
3.2.2 Bahan	20
3.3 Tahapan Penelitian	20
3.3.1 Pembuatan Elektroda Karbon	20
3.3.2 Pengujian Elektroda Karbon	21
3.3.3 Pemasangan Sistem <i>Capacitive Deionization</i>	21
3.3.4 Pengujian Sistem Desalinasi	22

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Fabrikasi Elektroda Karbon	23
4.2 Pengujian Elektroda Karbon	25
4.2.1 Uji <i>Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)</i>	25
4.2.2 Analisis morfologi elektroda karbon	28
4.2.3 Analisis Elektrokimia	30
4.2.2.1 <i>Cyclic Voltametry (CV)</i>	30
4.2.2.1 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i>	33

4.3 Pembuatan Sistem CDI	36
4.4 Pengujian Sistem CDI.....	37
 BAB 5 KESIMPULAN	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	45

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Komposisi Arang Aktif	7
Tabel 2.2 Daerah Panjang Gelombang	11
Tabel 2.3 Serapan Khas Beberapa Gugus fungsi	12
Tabel 2.4 Klasifikasi air berdasarkan konduktivitas	15

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Sistem kerja <i>Capasitive Deionization</i>	5
Gambar 2.2	Contoh voltamogram siklik	13
Gambar 3.1	Alur penelitian	17
Gambar 3.2	Susunan elektroda pada sistem <i>Capacitive Deionization</i>	20
Gambar 3.3	Susunan sistem <i>Capacitive Deionization</i> pada proses desalinasi	20
Gambar 4.1	Tahapan pembuatan elektroda karbon dengan binder PVA	24
Gambar 4.2	Grafik serapan PVA, asam sitrat, elektroda karbon T100, T110, dan T120.	25
Gambar 4.3	Crosslink pada reaksi esterifikasi antara PVA dan asam sitrat	26
Gambar 4.4	Morfologi elektroda karbon a) T100 b) T110 dan C) T120	28
Gambar 4.5	Unsur penyusun elektroda karbon dalam satuan (%)	29
Gambar 4.6	Perbandingan plot <i>Cyclic Voltametry</i> pada elektroda T100, T110, dan T120 pada <i>swept rate</i> 10 mV/s.....	31
Gambar 4.7	Perbandingan hasil spesifik kapasitansi pada elektroda karbon T100, T110, dan T120.	32
Gambar 4.8	Plot Nyquist dari elektroda karbon T100, T110, dan T120	33
Gambar 4.9	Perbandingan hasil spesifik kapasitansi pada elektroda karbon T100, T110, dan T120 dari hasil uji EIS.	34
Gambar 4.10	<i>Equivalent circuit</i> dari plot Nyquist dari elektroda karbon a) T100 b) T110 dan C) T120.....	34
Gambar 4.11	Sistem desalinasi berbasis CDI	35
Gambar 4.12	Hasil desalinasi larutan NaCl menggunakan cell CDI dengan variasi elektroda karbon T100, T110, dan T120	36

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Hampir semua aspek kehidupan manusia memerlukan air, antara lain sektor pertanian membutuhkan sekitar 40% dari seluruh kebutuhan air bersih dunia, 20% untuk keperluan rumah tangga, 10% untuk keperluan industri, dan 30% untuk lingkungan (Department of Economic and social US, 2004). Jumlah kebutuhan air bersih diperkirakan akan meningkat dengan meningkatnya populasi. Sumber air bersih yang langsung dapat digunakan manusia sangatlah terbatas jumlahnya di dunia dan diperkirakan kurang dari 0,01% (Fujioka, 2013). Organisasi kesehatan dunia telah menetapkan kurang dari 500 ppm total padatan terlarut atau *total dissolved solids* (TDS) menjadi nilai batas kandungan air yang layak digunakan untuk konsumsi manusia (WHO). Hal ini mendorong para peneliti untuk menemukan metode baru memperoleh air bersih dari sumber-sumber lain misalnya, air laut, air payau, dan air tanah melalui desalinasi untuk mencapai nilai TDS diterima.

Beberapa metode dalam penyaringan air laut atau desalinasi diantaranya adalah *ion exchange*, *reverse osmosis*, elektrodialisis dan *capacitive deionization* (Broseus et al, 2009). Salah satu metode yang telah banyak dikembangkan adalah *Capasitive deinozation* (CDI). Beberapa alasan metode CDI dipilih untuk dikembangkan dalam teknologi desalinasi adalah dikarenakan sangat ramah lingkungan (Cj. Gabelich, 2002) dan hanya membutuhkan konsumsi daya yang sangat rendah (Oren, 2008).

Pada dasarnya *Capacitive deionization* adalah metode desalinasi dengan mengalirkan air garam melewati celah diantara elektroda berdasarkan prinsip kapasitor dengan penyerapan ion secara elektrostatis pada permukaan elektroda bermuatan. Berdasarkan prinsip kerja CDI, maka bagian yang berperan penting dalam kinerja CDI adalah material elektroda yang digunakan, dan desain alat serta system

operasional CDI (Oren, 2008). Dari banyak penelitian dan pengembangan teknologi CDI, masih terfokus pada peningkatan efisiensi elektroda karbon.

Beberapa peneliti telah menggunakan polimer dengan binder yang bersifat hidrofilik seperti PVA (*polyvinyl Alcohol*). Salah satu peneliti yakni Ellys (2014) telah memanfaatkan PVA sebagai binder dalam pembuatan elektroda karbon dan menggunakan metode *crosslinking* serta *glutaric acid* sebagai agent *crosslinker*. Pada metode ini ditarik kesimpulan bahwa pada suhu 120°C dalam pembentukan *crosslinking*.

Dari perkembangan pembuatan elektroda capacitive deionization di atas timbul pertanyaan yaitu apabila agent *crosslink*nya diganti dengan jenis agent yang lain maka apa yang terjadi pada hasil fabrikasi elektroda. Pada suhu berapakah terjadi ikatan *crosslink* dan bagaimana kinerja elektroda karbon apabila agent *crosslink*ernya diubah. Pertanyaan-pertanyaan tersebut melatar-belakangi penelitian berjudul “Analisa Pengaruh Suhu Pembentukan Ikatan *Crosslink* Antara *Polyvinyl Alcohol* Dan *Citric Acid* Pada Elektroda Karbon Untuk Proses Desalinasi Larutan NaCl”.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan di atas dapat dirumuskan beberapa masalah

1. Bagaimana membuat elektroda karbon menggunakan binder *Polyvinyl Alcohol* dengan metode *crosslink* dan *citric acid* sebagai agent *crosslink*?
2. Bagaimanakah bentuk morfologi elektroda karbon menggunakan binder *Polyvinyl Alcohol* dengan metode *crosslink* dan *citric acid* sebagai agent *crosslink*?
3. Berapakah nilai kapasitansi elektroda karbon menggunakan binder *Polyvinyl Alcohol* dengan metode *crosslink* dan *citric acid* sebagai agent *crosslink* pada uji elektrokimia?
4. Bagaimanakah performa sistem CDI dengan elektroda karbon menggunakan binder *Polyvinyl Alcohol* dengan metode *crosslink* dan *citric acid* sebagai agent *crosslink* dalam mengurangi nilai konduktivitas sampel NaCl?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini antara lain:

1. Membuat elektroda karbon berbinder *Polyvinyl Alcohol* dengan komposisi karbon aktif, *Polyvinyl Alcohol* serta *citric acid*
2. Melihat serta menganalisa bentuk morfologi permukaan elektroda karbon menggunakan binder *Polyvinyl Alcohol* pada suhu pemanasan dengan uji SEM
3. Menghitung nilai kapasitansi elektroda karbon berbinder *Polyvinyl Alcohol* melalui uji *Cyclic voltametry* (CV) serta *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)
4. Menghitung persentase penurunan kadar larutan 0.1 M NaCl pada system CDI dengan elektroda karbon menggunakan binder *Polyvinyl Alcohol*

1.4 Manfaat Penelitian

Secara umum manfaat penelitian ini adalah untuk meningkatkan kinerja CDI sebagai teknologi desalinasi yang hemat energi dan ramah lingkungan

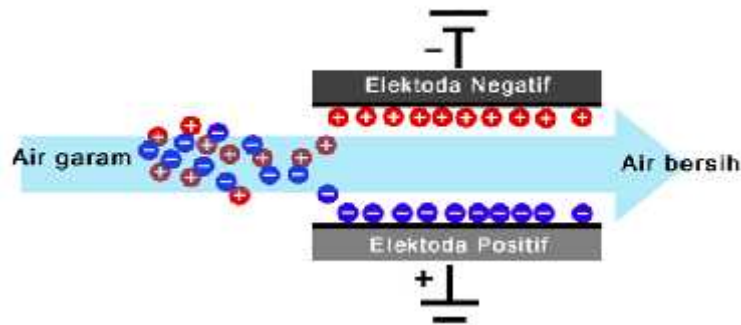
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1. *Capacitive Deionization* (CDI)

Capacitive Deionisation (CDI) adalah salah satu metode pengolahan air dengan pertukaran ion (*ion exchange*) dengan menerapkan perbedaan potensial listrik lebih pada dua elektroda karbon berpori. Sebuah *cell* CDI terdiri dari dua buah elektroda berpori yang diletakkan berhadapan dan terdapat saluran diantara kedua elektroda yang berfungsi untuk tempat mengalirnya air. Mekanisme *Capacitive Deionisation* adalah dengan mengalirkan air garam melewati celah diantara elektroda berdasarkan prinsip kapasitor dengan penyerapan ion secara elektrostatis pada permukaan elektroda bermuatan, seperti terlihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Sistem kerja *capacitive deionization*

Larutan elektrolit dalam hal ini larutan garam, pada dasarnya terbentuk akibat disosiasi molekul atau senyawa ionik menjadi ion. Dalam senyawa ionik, terdapat partikel-partikel bermuatan. Sebagai contoh, padatan ionik NaCl yang dilarutkan dalam air (H_2O). Karena ion klorida adalah negatif, maka ujung ujung positif dari H_2O akan berinteraksi dan mengelilingi sekitar ion klorida. Ion-ion klorida yang dikelilingi oleh banyak kelompok molekul air disebut dengan ion

klorida terhidrat. Pada saat yang sama ketika ion klorida mengalami hidrasi, hal yang sama dengan muatan positif, natrium juga terhidrasi pada ujung–ujung oksigen dari molekul air. Karena larutan sebagai keseluruhan adalah netral, maka jumlah ion natrium terhidrat harus sama dengan jumlah ion klorida yang terhidrat. Penyusun garam adalah unsur alkali golongan IA dan IIA yang berikatan dengan unsur Cl. Na merupakan unsur alkali golongan 1A dengan nomor atom 11. Unsur Mg adalah golongan IIA yang memiliki nomor atom 12 letaknya disebelah kanan Na dan unsur K adalah golongan IA yang memiliki nilai atom 19 terletak dibawah Na pada tabel periodik. Berdasarkan urutan tabel periodik unsur semakin kekanan jari- jari (r) atom semakin kecil dan kebawah memiliki jari –jari semakin besar.

Kation dan anion terhidrasi secara berbeda bergantung pada orientasi molekul air yang berbeda–beda di dalam kulit hidrasi. Gaya elektrostatis berkaitan dengan kemampuan menarik sejumlah molekul $H_2O(n)$. Semakin besar gaya elektrostatis maka semakin banyak molekul yang H_2O yang terikat maka ion akan dikelilingi lapisan yang berupa interaksi ion dengan dipol OH. Kation dan anion dengan jari-jari mereka (r) yang terhidrasi akan membentuk suatu lapisan hidrasi (*hydration shell*) yang menahan bergabungnya ion–ion menjadi molekul lagi (Marcus, 1994). Setiap ion memiliki jari-jari hidrasi dan jumlah molekul air yang mengelilinginya, hal tersebut sangat bergantung pada ukuran ion itu sendiri. Semakin besar energi hidrasi suatu ion maka semakin kuat interaksi yang terjadi antara ion dan molekul air maka medan listrik diantara elektroda semakin sulit untuk melemahkan interaksi tersebut.

Prinsip kerja *Capacitive Deionisation* adalah jika air dengan kandungan garam dialirkan diantara sepasang elektroda yang diberikan beda potensial tertentu maka elektroda akan mengikat ion-ion yang berlawanan pada air tersebut. Elektroda negatif akan menarik ion bermuatan positif (kation) seperti kalsium (Ca), magnesium (Mg) dan Natrium (Na), sedangkan elektroda positif akan menarik ion negatif (anion) seperti klorida (Cl) dan nitrat (NO_3). Sehingga kandungan garam dalam air yang telah melewati *cell* pada sistem *Capacitive Deionisation* akan berkurang (Dietz, 2004).

2.2. Elektroda Karbon

Kinerja dari *capasitive deionization* bergantung pada kualitas elektroda karbon, elektroda karbon memiliki kualitas baik, apabila memenuhi kriteria (Porada, 2013):

1. Memiliki spesifik surface area yang memungkinkan ion bergerak bebas.
Kemampuan penyerapan garam bergantung pada spesifik surface area namun tidak seluruh spesifik surface area mampu diakses oleh ion.
2. Stabil secara kimia dan tegangan, dapat dilihat dari nilai pH yang stabil.
3. Memiliki ukuran pori-pori yang memungkinkan ion bergerak keluar dan masuk dengan mudah.
4. Memiliki nilai konduktivitas yang tinggi
5. Memiliki hambatan kontak yang kecil antara current collector dan elektroda.
6. Bersifat hidrofilik atau memiliki sudut kontak yang kecil antara elektroda dan air
7. Murah
8. Prosesnya fabrikasinya mudah

Pori-pori pada elektroda karbon terbagi menjadi 3, yakni (Porada, 2013): *makropores* memiliki ukuran diameter pori-pori lebih dari 50 nm, *mesopores* memiliki ukuran diameter pori-pori antara 2-50 nm dan *mikropores* yang memiliki ukuran diameter pori-pori kurang dari 2 nm

Pembuatan elektroda karbon untuk keperluan *Capacitive Deionization* secara umum adalah serbuk karbon aktif dicampur dengan polimer binder, diaduk lalu dicetak dan dipanaskan. elektroda karbon dipasang pada current collector. Current collector berupa graphit sheet atau berupa graphit foil. Pemakaian current collector dari dua bahan ini supaya tidak terjadi korosi akibat bereaksi dengan air garam (Porada, 2013). Adapun material penyusun karbon elektroda antara lain: karbon aktif, dan *Polyvinyl Alcohol*.

2.2.1 Karbon Aktif

Karbon aktif merupakan material yang berbentuk butiran atau bubuk berwarna hitam yang berasal dari bahan-bahan yang mengandung karbon dengan proses aktivasi seperti perlakuan dengan tekanan dan suhu tinggi, dapat diperoleh arang aktif yang memiliki permukaan yang luas. Karbon aktif juga merupakan senyawa karbon amorf berikatan kovalen yang mengandung 85-95% karbon, diolah melalui proses karbonisasi dan aktivasi untuk menghasilkan pori dan luas permukaan berkisar antara 300-3500 m²/gr yang bersifat non polar. Karbon aktif dapat mengadsorpsi gas dan unsur-unsur kimia secara selektif, tergantung pada besar atau volume pori-pori dan luas permukaan. Daya serap karbon aktif sangat besar yaitu 25-1000% terhadap berat karbon aktif. (Sembiring, 2003). Adapun komposisi atau kandungan zat dalam arang aktif berdasarkan analisa dari beberapa jenis arang aktif dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Komposisi Arang Aktif (Sembiring M. T., 2003)

Jenis Bahan Baku	Persen (%)				
	C	H	Senyawa Organik	Senyawa Anorganik	Abu
Ampas tebu	88.4	7.8	0.08	0.12	3.2
Batang kelapa sawit	94.4	1.1	-	0.04	3.3
Serbuk gergaji kayu	87.5	2.2	0.12	0.04	2.0
Tempurung kelapa	95.3	0.6	0.19	0.43	1.2
Tongkol jagung	91.7	1.7	0.02	0.05	3.2

Sifat yang paling utama dari karbon aktif adalah kemampuannya untuk menyerap. Sifat ini didasari pada padatan sifat karbon aktif yang memiliki luas permukaan atau pori-pori yang besar. Daya serap karbon aktif erat hubungannya dengan sifat keaktifan karbon tersebut. Apabila suatu larutan terkontak dengan butiran karbon aktif yang berpori, maka molekul-molekul zat terlarut tertarik pada permukaan pori dan tertahan ditempat tersebut melalui gaya gaya yang lemah.

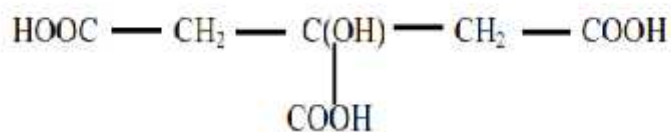
Berdasarkan sifat utama ini, salah satu manfaat dari karbon aktif yakni pada bidang penjernian air (Berliana, 2012).

2.2.2 *Polyvinyl Alcohol*

Polyvinyl Alcohol adalah polimer bersifat plastik yang larut dalam air. Hidrogel dalam kandungan air yang tinggi dapat dibentuk dari PVA melalui beberapa metode, antara lain : *Crosslinking* kimiawi, freeze-thawing, irradiasi gamma dan fotopolimerisasi (Vrana, 2009). *Crosslinking* adalah proses kimia yang menggabungkan dua atau lebih molekul oleh ikatan kovalen. Pengikat pada proses *crosslinking* disebut *agent*, salah satu jenis *agent* adalah acetic acid. Pemanasan pada suhu 100-130°C diperlukan agar terbentuk ikatan *crosslinking* (Park et al, 2011).

2.2.3 *Asam sitrat*

Asam sitrat merupakan asam organik lemah yang ditemukan pada daun dan buah tumbuhan genus *Citrus* (jeruk-jerukan). Senyawa ini merupakan bahan pengawet yang baik dan alami, selain digunakan sebagai penambah rasa masam pada makanan dan minuman ringan. Asam sitrat dikenal dengan nama kimia 2-hydroxy-1,2,3-propanetricarboxylic acid, rumus kimianya adalah $C_6H_8O_7$ memiliki rumus bangun seperti berikut (Richard J Lewis Sr, "Hawley's Condensed Chemical Dictionary", 13th ed) :



Asam sitrat merupakan asam organik yang larut dalam air dengan citarasa yang menyenangkan dan banyak digunakan dalam industri pangan, kosmetik, farmasi dan lain-lain. Asam sitrat digunakan dalam industri untuk mengikat (*squester*) ion,

menetralkan basa dan berperan sebagai buffer. Dalam kosmetika, asam sitrat digunakan sebagai buffer untuk pengatur pH produk. Beberapa jenis sitrat, khususnya garam sodiumnya, dipakai luas dalam produk makanan, farmasi dan detergen. Ester dari asam sitrat dipakai secara komersial sebagai *plasticizer* dalam penyiapan komposisi polimer, coating dan adhesive. Sifat fisik asam sitrat adalah berupa serbuk kristal berwarna putih, jernih, tidak berbau, dan memiliki rasa asam. Mempunyai titik lebur 153°C, titik didih 175°C, kelarutan dalam air adalah 207,7 g/100 mL (25°C) dan bobot molekul 60,05 g/mol.

Secara kimiawi tiga gugus karboksil COOH yang dapat melepas proton dalam larutan. Jika hal ini terjadi, ion yang dihasilkan adalah ion sitrat. Sitrat sangat baik digunakan dalam larutan penyangga untuk mengendalikan pH larutan. Ion sitrat dapat bereaksi dengan banyak ion logam membentuk garam sitrat. Selain itu, asam sitrat dapat mengikat ion-ion logam dengan pengkelatan, sehingga digunakan sebagai pengawet dan penghilang kesadahan air.

Pada temperatur kamar, asam sitrat berbentuk serbuk kristal berwarna putih. Serbuk Kristal tersebut dapat berupa bentuk *anhydrous* (bebas air), atau bentuk monohidrat yang mengandung satu molekul air untuk setiap molekul asam sitrat. Bentuk *anhydrous* asam sitrat mengkristal dalam air panas, sedangkan bentuk monohidrat didapatkan dari kristalisasi asam sitrat dalam air dingin. Bentuk monohidrat tersebut dapat diubah menjadi bentuk *anhydrous* dengan pemanasan di atas 74 °C. Seperti asam karboksilat lainnya jika asam sitrat dipanaskan di atas 175 °C, asam sitrat terurai dengan melepaskan karbon dioksida dan air.

2.3. Pengujian Karbon Elektroda

Pengujian karbon elektroda meliputi, melihat bentuk morfologi dari permukaan karbon elektroda dengan menggunakan SEM dan FTIR serta pengujian sifat-sifat elektrokimia untuk melihat nilai kapasitansinya dengan menggunakan metode *cyclic voltametry* (CV) dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS)

2.3.1 SEM EDX

Scanning Electron Microscope (SEM) adalah salah satu jenis mikroskop electron yang menggunakan berkas electron untuk menggambarkan bentuk permukaan dari material yang dianalisis. Prinsip kerja dari SEM ini adalah dengan menggambarkan permukaan benda atau material dengan berkas elektron yang dipantulkan dengan energy tinggi. Permukaan material yang disinari atau terkena berkas elektron akan memantulkan kembali berkas electron atau disebut berkas electron sekunder ke segala arah. Tetapi dari semua berkas electron yang dipantulkan terdapat satu berkas electron yang dipantulkan dengan intensitas tertinggi. Detector yang terdapat di dalam SEM EDX akan mendeteksi berkas electron berintensitas tinggi yang dipantulkan oleh benda atau material yang dianalisis. Selain itu juga dapat menentukan lokasi berkas electron yang berintensitas tertinggi itu. Daerah yang diamati cukup luas, sehingga bisa dibatasi dengan menggunakan zoom in dan zoom out serta ditampilkan dengan menggunakan program pencitraan yang terdapat pada computer (Yamin, et al. 2009).

SEM EDX memiliki resolusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan mikroskop optic, karena panjang gelombang de Broglie yang dimiliki oleh SEM EDX lebih pendek dari pada gelombang optic. Makin pendek panjang gelombang yang digunakan maka makin tinggi resolusi dari mikroskop. Cahaya hanya mampu mencapai 200nm sedangkan electron bisa mencapai resolusi hingga 0,1-0,2 nm. SEM juga mampu menunjukkan ukuran pori-pori elektroda karbon, namun terbatas pada ukuran panjang 1 μm . SEM EDX digunakan untuk melihat bentuk morfologi, homogenitas padatan serta komposisi bahan penyusun dari elektroda karbon (Yamin, et al. 2009).

2.3.2 *Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)*

Spektroskopi inframerah merupakan salah satu alat yang banyak dipakai untuk mengidentifikasi senyawa, baik alami maupun buatan. Dalam bidang fisika bahan, seperti bahan-bahan polimer, inframerah juga dipakai untuk mengkarakterisasi sampel. Suatu kendala yang menyulitkan dalam mengidentifikasi senyawa dengan inframerah adalah tidak adanya aturan yang baku untuk melakukan interpretasi spektrum. Karena kompleksnya interaksi dalam vibrasi molekul dalam suatu senyawa dan efek-efek eksternal yang sulit dikontrol seringkali prediksi teoretik tidak lagi sesuai. Pengetahuan dalam hal ini sebagian besar diperoleh secara empiris. Spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang mengamati interaksi molekul dengan radiasi elektromagnetik yang berada pada daerah panjang gelombang 0.75–1.000 μm atau pada bilangan gelombang 13.000–10 cm^{-1} .

Metode spektroskopi inframerah merupakan suatu metode yang meliputi teknik serapan (*absorption*), teknik emisi (*emission*), teknik fluoresensi (*fluorescence*). Komponen medan listrik yang banyak berperan dalam spektroskopi umumnya hanya komponen medan listrik seperti dalam fenomena transmisi, pemantulan, pembiasan, dan penyerapan. Penemuan inframerah ditemukan pertama kali oleh William Herschel pada tahun 1800. Penelitian selanjutnya diteruskan oleh Young, Beer, Lambert dan Julius melakukan berbagai penelitian dengan menggunakan spektroskopi inframerah. Pada tahun 1892 Julius menemukan dan membuktikan adanya hubungan antara struktur molekul dengan inframerah. Dengan ditemukannya gugus metil dalam suatu molekul akan memberikan serapan karakteristik yang tidak dipengaruhi oleh susunan molekulnya. Penyerapan gelombang elektromagnetik dapat menyebabkan terjadinya eksitasi tingkat-tingkat energi dalam molekul. Dapat berupa eksitasi elektronik, vibrasi, atau rotasi. Inframerah merupakan sinar elektromagnetik yang panjang gelombangnya lebih dari

cahaya tampak dan kurang dari mikrogelombang, yaitu antara 700 nm dan 1mm. inframerah dapat dibagi menjadi tiga macam yang dapat dilihat pada Tabel 2.2

Dari pembagian daerah spektrum elektromagnetik tersebut di bawah ini, daerah panjang gelombang yang digunakan pada alat spektroskopi inframerah adalah pada daerah inframerah pertengahan, yaitu pada panjang gelombang 2,5 – 50 μm atau pada bilangan gelombang 4.000 – 200 cm^{-1} . Daerah tersebut adalah cocok untuk perubahan energi vibrasi dalam molekul. Daerah inframerah yang jauh (4.000 – 10 cm^{-1}), berguna untuk molekul yang mengandung atom berat, seperti senyawa anorganik tetapi lebih memerlukan percobaan dengan teknik khusus.

Tabel 2.2 Daerah Panjang Gelombang
(http://id.wikipedia.org/wiki/Spektroskopi_inframerah)

Jenis	Panjang gelombang	Interaksi	Bilangan gelombang
Sinar gamma	< 10 nm	Emisi Inti	
sinar-X	0,01 - 100 Å	Ionisasi Atomik	
Ultra ungu (UV) jauh	10-200 nm	Transisi Elektronik	
Ultra ungu (UV) dekat	200-400 nm	Transisi Elektronik	
Sinar tampak (spektrum optik)	400-750 nm	Transisi Elektronik	25.000-13.000 cm^{-1}
Inframerah dekat	0,75 - 2,5 μm	Interaksi Ikatan	13.000-4.000 cm^{-1}
Inframerah pertengahan	2,5 - 50 μm	Interaksi Ikatan	4.000 - 200 cm^{-1}
Inframerah jauh	50 - 1.000 μm	Interaksi Ikatan	200 - 10 cm^{-1}
Gelombang mikro	0,1 - 100 cm	serapan inti	10 - 0,01 cm^{-1}
Gelombang radio	1 - 1.000 meter	Serapan Inti	

Vibrasi yang digunakan untuk identifikasi adalah vibrasi tekuk, khususnya vibrasi rocking (goyangan), yaitu yang berada di daerah bilangan gelombang 2000 – 400 cm^{-1} . Karena di daerah antara 4000 – 2000 cm^{-1} merupakan daerah yang khusus

yang berguna untuk identifikasi gugus fungsional. Daerah ini menunjukkan absorpsi yang disebabkan oleh vibrasi regangan. Sedangkan daerah antara 2000 – 400 cm^{-1} seringkali sangat rumit, karena vibrasi regangan maupun bengkokan mengakibatkan absorpsi pada daerah tersebut.

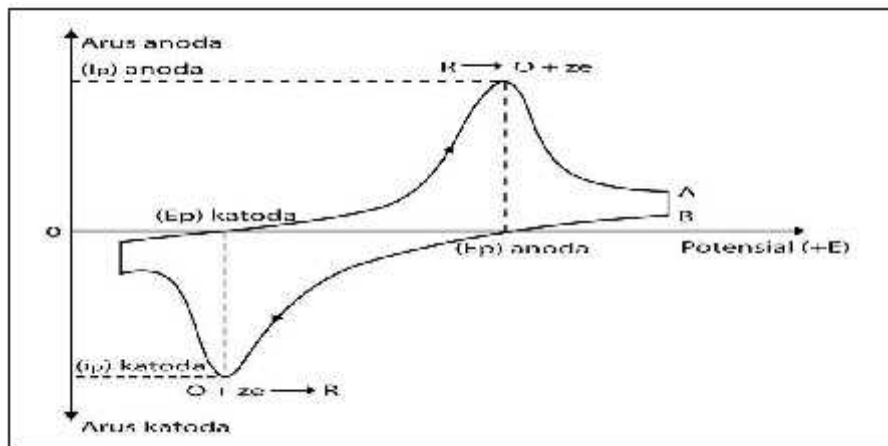
Dalam daerah 2000 – 400 cm^{-1} tiap senyawa organik mempunyai absorpsi yang unik, sehingga daerah tersebut sering juga disebut sebagai daerah sidik jari (fingerprint region). Meskipun pada daerah 4000 – 2000 cm^{-1} menunjukkan absorpsi yang sama, pada daerah 2000 – 400 cm^{-1} juga harus menunjukkan pola yang sama sehingga dapat disimpulkan bahwa dua senyawa adalah sama.

Tabel 2.3 Serapan Khas Beberapa Gugus fungsi
(http://id.wikipedia.org/wiki/Spektroskopi_inframerah)

Gugus	Jenis Senyawa	Daerah Serapan (cm^{-1})
C-H	Alkana	2850-2960, 1350-1470
C-H	Alkena	3020-3080, 675-870
C-H	Aromatic	3000-3100, 675-870
C-H	Alkuna	3300
C=C	Alkena	1640-1680
C=C	Aromatik (cincin)	1500-1600
C-O	Alkohol, Eter, Asam Karboksilat, Ester	1080-1300
C=O	Aldehida, Keton, Asam Karboksilat, Ester	1690-1760
O-H	Alkohol, Fenol(monomer)	3610-3640
O-H	Alkohol, Fenol (ikatan H)	2000-3600 (lebar)
O-H	Asam karboksilat	3000-3600 (lebar)
N-H	Amina	3310-3500
C-N	Amina	1180-1360
-NO ₂	Nitro	1515-1560, 1345-1385

2.3.3 Cyclic Voltametry (CV)

Cyclic Voltametry (CV) merupakan teknik yang digunakan untuk mendapatkan informasi tentang reaksi elektrokimia (Lund & Hummerich, 2001). *Cyclic Voltametry* diperoleh dari scan potensial melawan densitas arus dengan berbagai kecepatan scan. Dari *Cyclic Voltametry* didapat beberapa nilai parameter penting seperti potensial puncak anoda (E_{pa}), potensial puncak katoda (E_{pk}). Puncak arus anoda (I_{pa}) dan puncak arus katoda (I_{pk}) (Riyanto, 2012).



Gambar 2.2 Contoh Voltamogram Siklik (Ross et al.1975)

Cyclic Voltametry pada Gambar 2.2 menunjukkan scan berjalan kearah potensial positif. Arus awal merupakan arus tidak faraday. Perubahan potensial terjadi perubahan muatan listrik dua lapis. Dengan menaikkan potensial dalam reaksi oksidasi, arus mengalami kenaikan sangat cepat hingga ke potensial tertentu, hingga diperoleh arus puncak. Potensial pada arus puncak disebut potensial puncak, dimana pada potensial ini konsentrasi bahan reaksi di permukaan elektroda hampir nol. Kemudian arus akan menurun hingga pada keadaan resapan terbatas. Arah potensial yang diterapkan diubah kearah katoda dan arus menurun hingga cepat (A-B). arus meningkat secara perlahan dan hasil reaksi oksidasi elektrokimia mengalami reduksi di permukaan elektroda, dimana terjadi peningkatan arus dengan cepat dan diperoleh

potensial katoda maksimum dan arus katoda maksimum. Kemudian arus menurun dari resapan terbatas sehingga siklus lengkap (Riyanto, 2012).

Elektrokimia *Cyclic Voltametry* menggunakan sistem tiga elektroda yaitu elektroda kerja, elektroda pembanding dan elektroda bantu. Dari ketiga elektroda yang dapat dimodifikasi adalah elektroda kerja. Karbon Elektroda digunakan sebagai elektroda kerja, platina (Pt) digunakan sebagai elektroda bantu, dan Ag/AgCl (3M) digunakan sebagai elektroda pembanding. Karbon Elektroda dapat digunakan sebagai elektroda kerja karena memiliki kisaran potensial yang lebar, arus *background* rendah, murah, *inert*, cocok untuk berbagai sensor dan aplikasi deteksi (Wang, dkk., 2010).

Adapun cara untuk menghitung spesifik kapasitansi pada beberapa *scan rate* dapat menggunakan rumus matematis (Park et al, 2011)

$$C = \left(\frac{i_a - i_c}{2v} \right) \quad (2.1)$$

Dengan C adalah spesifik kapasitansi (F/g); i_a adalah arus anodic, i_c adalah arus katodik, v adalah potensial *scan rate* yang diterapkan, m adalah massa karbon aktif.

2.3.4 *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*

Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS) merupakan salah satu teknik untuk mengkarakterisasi besaran-besaran listrik dalam sel elektrokimia. Prinsip dasar dalam pengukuran EIS ini adalah dengan memberikan sinyal sinusoidal dengan amplitude rendah pada sistem yang diinvestigasi dan mengukur respon yang berupa arus maupun tegangan dari sistem yang dievaluasi sehingga didapatkan nilai impedansi sistem. Adapun cara untuk menghitung nilai kapasitansi yakni menggunakan rumus (Park et al, 2011),

$$C = \left| \frac{1}{\omega Z''} \right| \quad (2.2)$$

Dengan ω adalah frekuensi anguler pada sinyal potensial AC, Z'' adalah komponen imajiner pada spectra impedansi.

2.4. Konduktivitas

Konduktivitas air bergantung pada jumlah ion-ion terlarut per volumenya dan mobilitas ion-ion tersebut. Satuannya adalah ($\mu\text{mho/cm}$, 25°C). Konduktivitas bertambah dengan jumlah yang sama dengan bertambahnya salinitas, karena adanya penambahan ion garam. Untuk mengukur konduktivitas digunakan konduktivimeter. Berdasarkan nilai daya hantar listrik, jenis air juga dapat dibedakan melalui nilai pengukuran daya hantar listrik dalam $\mu\text{mho/cm}$ pada suhu 25°C yang ditunjukkan pada klasifikasi air sebagai berikut terangkum pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Klasifikasi air berdasarkan konduktivitas (Davis dan Wiest, 1996)

No	Konduktivitas ($\mu\text{mho/cm}$, 25°C)	Klasifikasi
1	0,0055	Air murni
2	0,5-5	Air suling
3	5-30	Air hujan
4	30-200	Air tanah
5	45000-55000	Air laut

Pada penelitian ini digunakan nilai konduktivitas air sebagai indikator untuk mengetahui kandungan garam NaCl yang terdapat pada larutan. Dengan nilai ini pula akan dihitung persentase pengurangan garam NaCl dalam larutan yang diuji menggunakan rumus sebagai berikut (Intan, 2015).

$$\text{Persentase pengurangan kadar garam} = \frac{c_i - c_f}{c_i} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dengan c_i adalah konduktivitas awal, c_f adalah konduktivitas akhir.

“Halaman ini sengaja dikosongkan”

BAB 3

METODELOGI PENELITIAN

3.1 Prosedur kerja

Penelitian ini dilaksanakan dalam beberapa tahapan seperti yang terlihat pada Gambar 3.1. Tahap pertama yakni pembuatan elektroda, kedua pengujian elektroda, ketiga pemasangan elektroda pada system capacitive deionization dan keempat adalah pengujian system Capacitive deionization.



Gambar 3.1 Alur penelitian

3.2 Peralatan dan Bahan

3.2.1 Peralatan

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini antara lain adalah gelas ukur, gelas beker, pipet ukur, spatula, timbangan digital, ayakan, dan oven/ furnace (pemanas) serta pengaduk *magnetic stirrer*.

Pengujian kapasitansinya dengan metode *cyclic voltametry* menggunakan alat Autolab PG-Stat 302 Methrom. *Scanning electron microscope (SEM)* untuk mengetahui morfologi permukaan elektroda. SEM EDX menggunakan alat Merk FEI tipe Inspect S25. Konduktivitas dan salinitas larutan diukur menggunakan alat ukur tipe Benchtop pH/ORP/Conductivity/ TDS/Salinity Meter 86505.

3.2.2 Bahan

Bahan-bahan dalam pembuatan sistem *capacitive deionization* ini adalah serbuk karbon aktif (CV Mitra Usaha Mandiri) dari tempurung kelapa. *Graphit sheet* (Changyi Dongfeng Materials) sebagai *Current Collector* serta polimer sebagai binder. Polimer yang digunakan pada elektroda adalah *Polyvinyl Alcohol (Merk Aquadest* dan NaCl produksi LIPI untuk pembuatan larutan uji (sampel).

3.3 Tahapan Penelitian

Proses kerja dalam penelitian ini dibagi menjadi empat tahapan yaitu pertama pembuatan elektroda, kedua pengujian elektroda, ketiga pemasangan elektroda pada system capacitive deionization dan keempat kinerja system Capacitive deionization.

3.3.1 Pembuatan Elektroda Karbon

Proses pembuatan elektroda karbon dengan binder PVA serta agent asam sitrat menggunakan metode *crosslinking*:

1. Mempersiapkan alat dan bahan yang diperlukan.
2. Karbon aktif dipanaskan dalam oven pada suhu 80° C selama 24 jam.

3. Sebanyak 70 mL aquades dipanaskan hingga 100°C, kemudian tunggu hingga volume aquades menjadi 50 ml.
4. Campurkan (stirer) 1 g PVA ke dalam aquades hingga PVA larut dan homogen.
5. Matikan pemanas.
6. Campurkan 20 g karbon aktif pada larutan PVA, stirrer hingga suhu adonan mencapai suhu ruang (30°-32°C).
7. Tambahkan 5 g asam sitrat pada adonan, stirrer hingga 4 jam
8. Oleskan adonan pada 10 lembar *graphit sheet* dengan ukuran 8×6 cm² dengan tebal 0.5 mm
9. Diamkan pada suhu ruang selama 4 hari
10. Panaskan elektroda karbon menggunakan furnice dengan variasi suhu 100, 110, dan 120°C masing-masing selama 1 jam

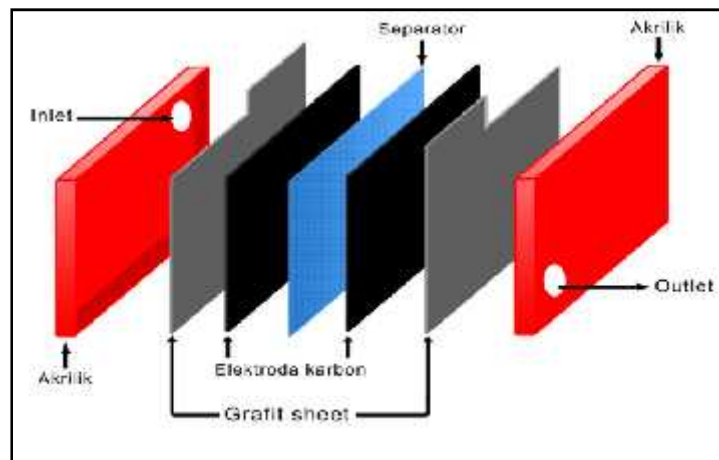
3.3.2 Pengujian Elektroda Karbon

Pengujian elektroda terbagai menjadi beberapa hal, diantaranya:

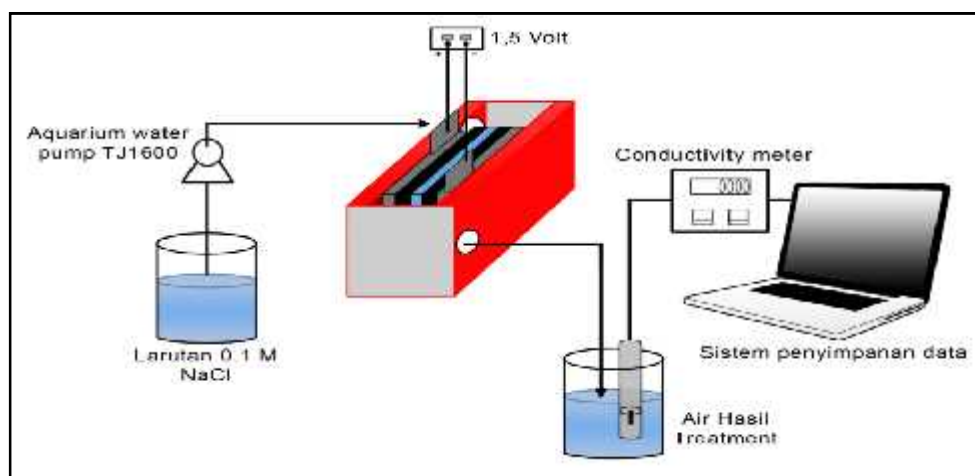
1. Pengujian morfologi permukaan elektroda menggunakan alat *Scanning electron microscope (SEM EDX)*
2. Pengujian ikatan crosslink menggunakan alat Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)
3. Pengujian sifat-sifat elektrokimianya (nilai kapasitansinya) dengan menggunakan metode *Cyclic voltametry* dan *Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)*.

3.3.3 Pemasangan Sistem *Capacitive Deionization*

Sistem *capacitive deionization* ini dirancang dengan menggunakan 2 pasang elektroda. Larutan NaCl 0,1 M dialirkan dari atas menuju kebawah dengan laju 10 mL/menit. Sel CDI terdiri dari 2 pasang elektroda yang dihubungkan secara bipolar dengan jarak antara elektroda negatif dan positif setebal spacer yakni 1 mm. CDI dihubungkan dengan beda potensial sebesar 2 V.



Gambar 3.2 Susunan elektroda pada sistem *Capacitive Deionization* (CDI)



Gambar 3.3 Susunan sistem *Capacitive Deionization* (CDI) pada proses desalinasi

3.3.4 Pengujian System Desalinasi

Pengujian system desalinasi diperoleh dengan memperhatikan nilai konduktifitas larutan dengan menggunakan alat ukur tipe Benchop pH/ORP/Conductivity/ TDS/Salinity Meter 86505.

BAB 4

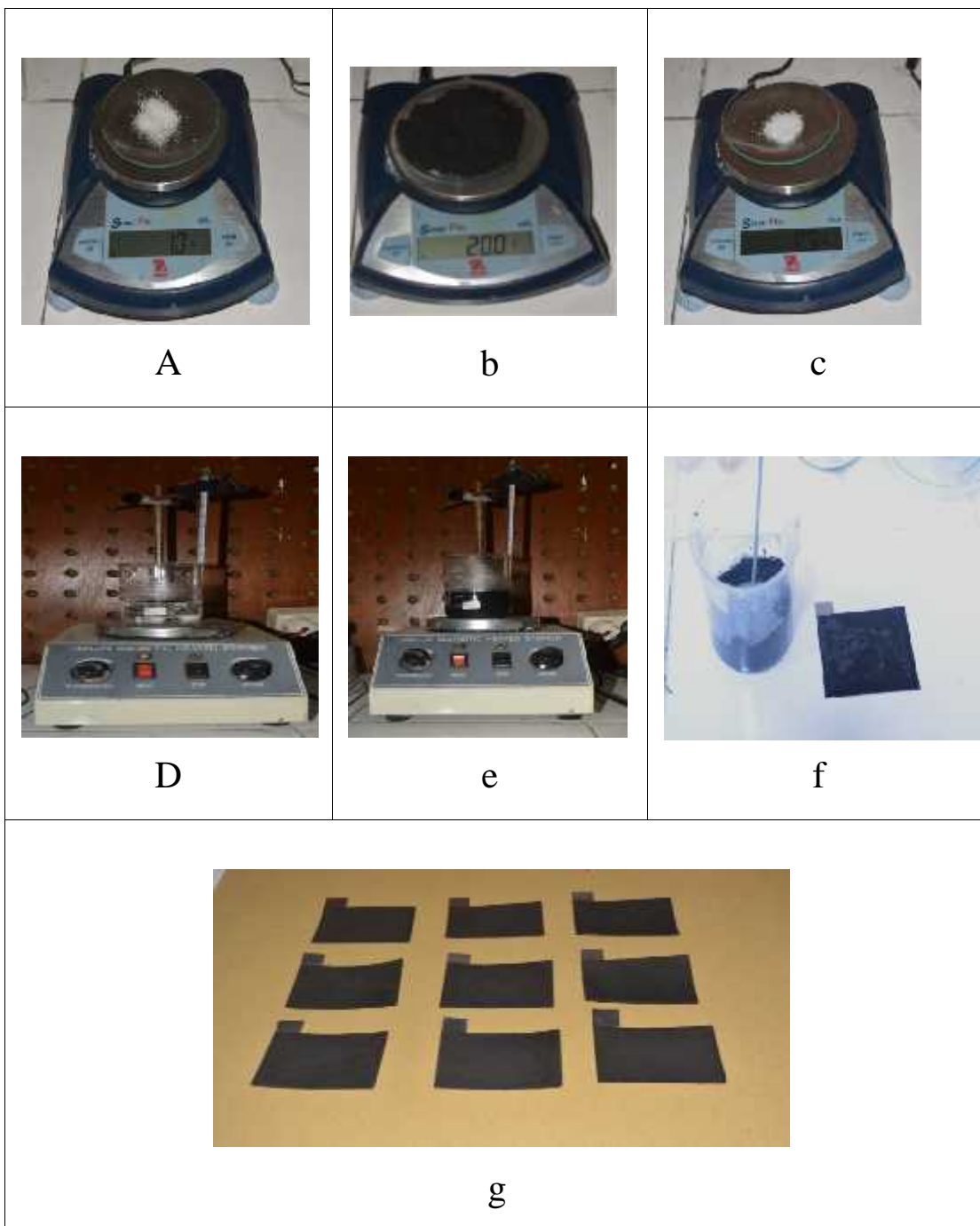
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Fabrikasi Elektroda Karbon

Pada dasarnya fabrikasi elektroda ini adalah membuat suatu padatan dari serbuk karbon untuk dijadikan elektroda. Cara yang dipakai adalah dengan menyatukan partikel karbon menggunakan suatu pengikat yang disebut binder. Binder yang dipilih untuk mengikat karbon ini adalah binder dengan kemampuan rekat yang baik serta memiliki sifat hidrofilik seperti PVA. Proses pembuatan elektroda karbon dilakukan dengan metode crosslink karena melalui metode ini dapat dibentuk dihasilkan padatan karbon yang kokoh. Selain itu, dengan metode ini lebih banyak terbentuk rongga atau pori dibanding dengan metode yang lainnya. Pembentukan pori dapat ditingkatkan dengan pemanasan pada suhu tertentu, sehingga pada penelitian ini dilakukan variasi suhu pemanasan yaitu 100, 110, dan 120°C.

Pada penelitian ini, dilakukan fabrikasi elektroda sistem CDI untuk desalinasi larutan NaCl. Bahan-bahan pembuatan elektroda pada penelitian ini terdiri dari serbuk karbon aktif tempurung kelapa (CV. Mitra usaha Mandiri, 140 mesh), poly(vynil alkohol) (Merck), asam sitrat (Merck) dan grafit sheet (ChangyiDongfeng Sealing Materials).

Elektroda karbon difabrikasi dengan beberapa langkah kerja, pada awalnya aquades dipanaskan hingga suhu 100°C dan matikan pemanas. Kemudian PVA dimasukkan ke dalam aquades dan *distirer* hingga larut secara merata. Berikutnya, karbon aktif tempurung kelapa dimasukan dan *distirer* hingga suhu adonan mencapai suhu ruangan. Selanjutnya, asam sitrat ditambahkan dan terus *distirer* selama 4 jam. Adonan yang terbentuk dicetak pada lembaran *graphit sheet* dan dibiarkan mengering pada suhu ruang selama empat hari. Elektroda karbon yang telah mengering dipanaskan dengan beberapa variasi suhu pemanasan yaitu 100, 110, dan 120°C selama masing-masing satu jam.



Gambar 4.1 Tahapan pembuatan elektroda karbon dengan binder PVA
a)menimbang PVA sebanyak 1gram b)menimbang karbon aktif sebanyak 20 g
c)menimbang asam sitrat 0.5 g d) melarutkan PVA e) mencampurkan karbon
f)mencetak adonan pada grafit sheet g)hasil eletroda karbon

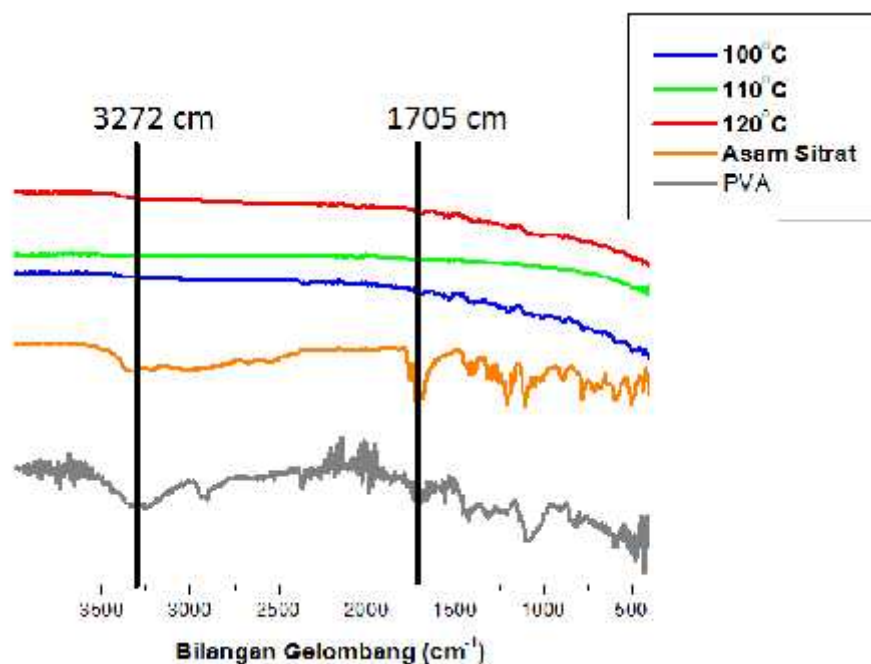
Alasan penggunaan karbon aktif tempurung kelapa sebagai bahan utama dalam fabrikasi elektroda karena selain bahannya murah, karbon aktif memiliki kemampuan untuk menyerap zat yang terlarut dalam air (Berliana, 2014). Keunggulan lain karbon aktif juga memiliki ukuran yang sangat kecil, dengan luas permukaan spesifik berkisar antara 700-1400 m²/g. Dengan luas permukaan spesifik yang besar maka akan mempermudah kontak dengan zat yang lain, sehingga meningkatkan jumlah penyerapan ion Na⁺ dan ion Cl⁻ dengan begitu, kinerja elektroda akan menjadi lebih baik. Selanjutnya, PVA akan digunakan sebagai binder untuk membentuk karbon aktif menjadi padatan elektroda karbon. Binder PVA sendiri memiliki sifat hidrofilik atau penyuka air sehingga akan meningkatkan interaksi antara permukaan elektroda dengan air yang mengandung ion. Penambahan asam sitrat sebagai agent crosslink adalah untuk menyilangkan rantai panjang gugus OH pada PVA sehingga kekuatan ikat dari binder itu sendiri dapat ditingkatkan.

4.2. Pengujian Elektroda karbon

Hasil fabrikasi elektroda karbon dengan metode crosslink diharapkan memiliki pori-pori yang memungkinkan ion bergerak keluar dan masuk dengan mudah (S. Porada et al, 2013) serta memiliki nilai kapasitansi yang tinggi. Ikatan crosslink pada binder PVA dan asam sitrat akan dianalisa dengan uji FTIR. Pori-pori yang memungkinkan ion bergerak keluar dan masuk dengan mudah dapat direkam dengan menggunakan uji SEM EDX. Sedangkan untuk mengetahui nilai kapasitansi dapat dihitung dengan menggunakan uji elektrokimia yakni berupa CV dan EIS.

4.2.1 Uji *Fourier Transform Infrared Spectroscopy* (FTIR).

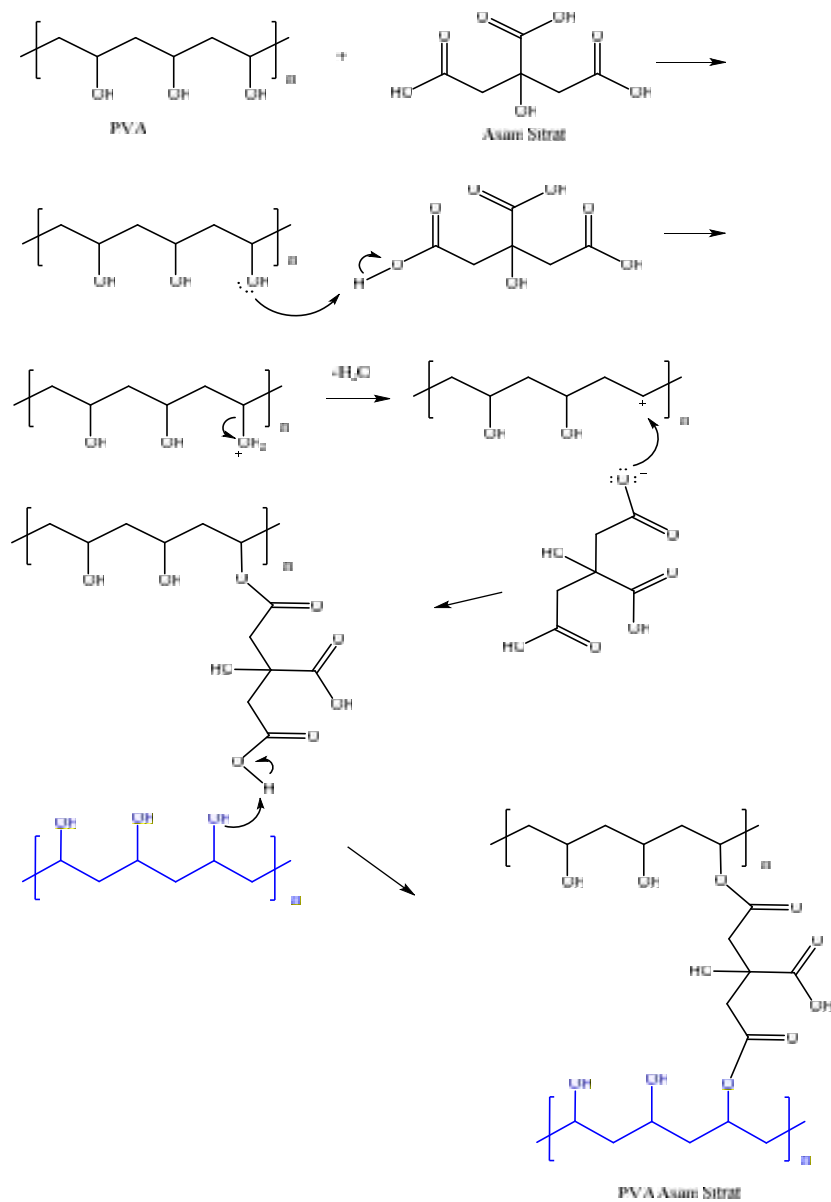
Pada pengujian ini, sampel PVA, asam sitrat dan elektroda karbon diuji menggunakan uji *fourier transform infrared spectroscopy* (FTIR). Hasil uji dari ketiga sampel dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2. Grafik serapan PVA, asam sitrat, elektroda karbon dengan variasi elektroda T100, T110, dan T120.

Pada gambar terlihat bahwa variasi elektroda karbon T100, T110, dan T120 tidak terdapat serapan gelombang pada nilai 3000-3600 cm^{-1} . Sedangkan pada grafik serapan untuk PVA sendiri, terdapat lembah pada panjang gelombang 3272 cm^{-1} yang menunjukkan adanya ikatan OH (3.000-3.600 cm^{-1}). Sama halnya dengan grafik yang ditunjukkan pada serapan asam sitrat, dapat dilihat bahwa ada serapan pada nilai panjang gelombang 1705 cm^{-1} . Dengan demikian secara ringkas dapat dikatakan bahwa sebelum PVA digunakan sebagai binder pada elektroda karbon, terdapat ikatan OH yang menunjukkan ciri dari PVA itu sendiri. Selanjutnya pada saat PVA telah digunakan sebagai binder untuk elektroda karbon yang ditambah dengan asam sitrat yang menghasilkan ikatan silang pada reaksi esterifikasi antara PVA dan asam sitrat seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Ikat silang antara PVA ini mengakibatkan rantai OH putus dan dibuktikan dengan tidak adanya lembah pada bilangan gelombang 3.000-3.600 cm^{-1} yang menandakan adanya serapan gugus OH. Begitu

pula pada asam sitrat, dimana gugus COOH dengan adanya ikatan CO yang ditandai dengan serapan pada nilai 1690-1760 cm^{-1} . Pada saat telah terjadi ikat silang, ikatan CO terputus dan ditandai dengan tidak adanya lembah pada grafik serapan dengan nilai antara 1690-1760 cm^{-1} .



Gambar 4.3. Crosslink pada reaksi esterifikasi antara PVA dan asam sitrat

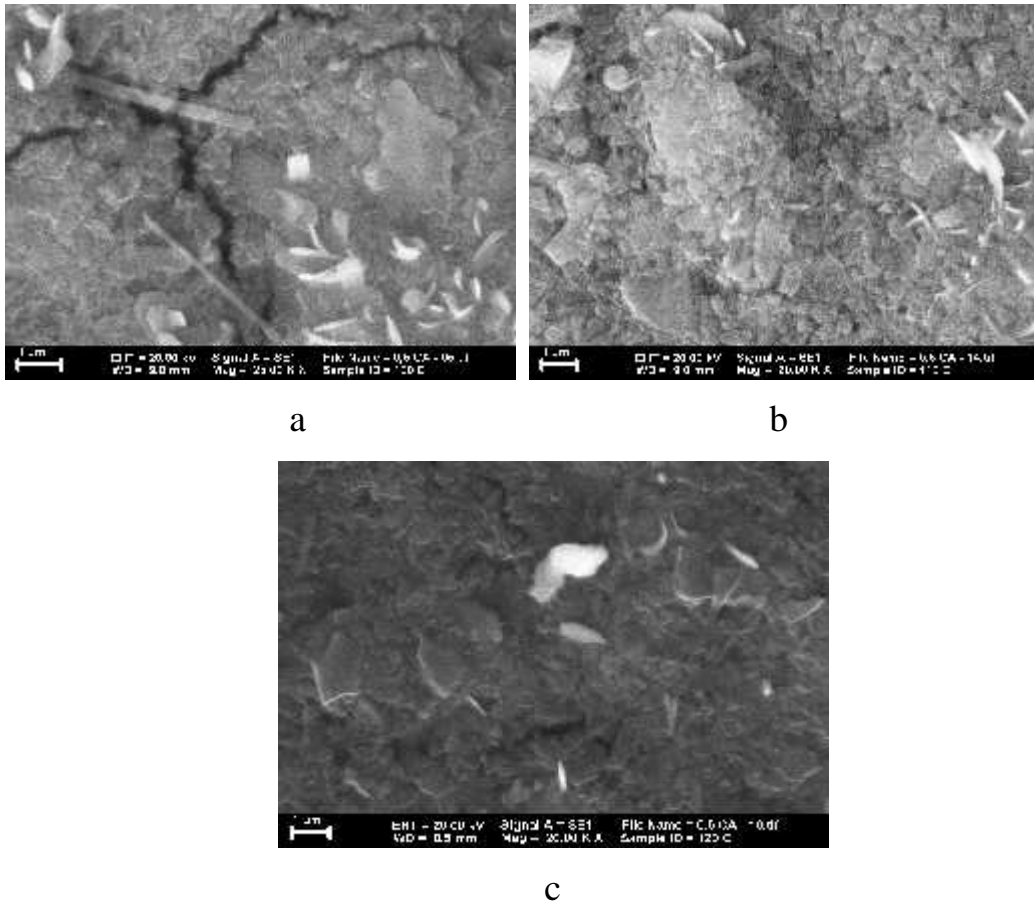
Terlihat bahwa ikatan OH pada PVA terputus dan berikatan dengan OH yang ada pada asam sitrat, dengan begitu pada saat telah terjadi crosslink antara PVA dan asam sitrat maka jumlah gugus OH dalam bahan sudah berkurang. Semakin banyak gugus OH yang berkurang menandakan banyaknya crosslink yang terjadi dalam reaksi ini. Sejalan dengan itu, pada grafik variasi elektroda karbon T100, T110, dan T120 menunjukkan tidak adanya serapan pada panjang gelombang 3000-3600 cm^{-1} yang menandakan keberadaan gugus OH. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa fabrikasi elektroda karbon dari bahan karbon aktif tempurung kelapa dengan PVA sebagai binder dan asam sitrat sebagai agent menggunakan metode crosslink telah berhasil dilakukan dengan baik.

4.2.2 Analisis morfologi elektroda karbon

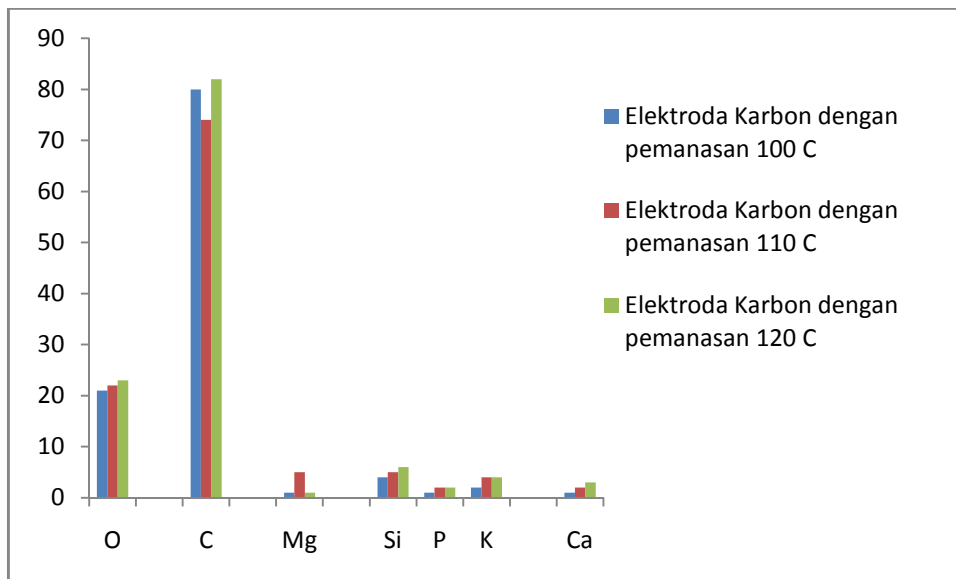
Bentuk permukaan elektroda karbon menggunakan binder PVA dengan variasi suhu ikatan *crosslink* 100, 110, dan 120°C pada pembesaran 20.000 kali dapat dilihat pada Gambar 4.4. Terdapat tiga buah gambar uji SEM, masing masing adalah gambar elektroda karbon dengan variasi T100, T110, dan T120. Pada Gambar.4.4 hasil SEM untuk carbon T100 terlihat sebaran partikel bagian permukaan karbon masih belum banyak terbentuk pori. Permukaan elektroda T100 masih banyak tertutup oleh lapisan PVA. Pada elektroda T110 terlihat sudah terbentuk sedikit pori bila dibanding dengan elektroda T100. Akan tetapi tidak dengan elektroda T120, yang terlihat pada gambar SEM adalah belum ditemukan banyak pori pada permukaan elektroda ini.

Dari ketiga hasil SEM dapat dikatakan bahwa elektroda T110 yang telah terbentuk banyak pori pada permukaan elektroda. Dengan adanya pori pada permukaan elektroda untuk semakin banyaknya kemungkinan partikel air yang dapat melakukan kontak dengan partikel karbon sehingga semakin meningkatnya pula interaksi antara ion yang terhidrasi dalam air. Dengan meningkatnya kemungkinan interaksi ion dengan permukaan elektroda ini akan meningkatkan jumlah serapan ion

Na^+ dan Cl^- . Selanjutnya melalui peningkatan penyerapan ion Na^+ dan Cl^- dalam air maka secara menyeluruh akan meningkatkan kinerja dari system CDI. Berdasarkan uraian di atas maka dapat dikatakan bahwa elektroda yang memiliki kinerja yang baik sebagai elektroda pada sistem CDI adalah elektroda yang terdapat banyak pori pada permukaan elektroda itu sendiri. Akan tetapi untuk dapat digunakan sebagai elektroda yang baik dalam system CDI, elektroda tersebut harus juga memenuhi beberapa kriteria lain yaitu memiliki sifat sebagai kapasitor dan memiliki kemampuan menyerap ion yang baik



Gambar 4.4 Bentuk morfologi pada beberapa variasi elektroda karbon (a) T100, (b) T110, dan (c) T120



Gambar 4.5 Unsur penyusun elektroda karbon dalam satuan (%)

Komposisi pada elektroda karbon dapat diketahui melalui pengujian *Energy Dispersive x-Ray* (EDX) yang ditunjukkan pada Gambar 4.5. Hasil pengujian EDX menunjukkan kandungan unsur C adalah yang tertinggi, ini menunjukkan komposisi utama elektroda adalah karbon. Selain unsur C yang terdapat pada karbon, terdapat pula unsur yang lain seperti Mg, Si, P, K dan Ca. Unsur-unsur ini merupakan pengotor yang terdapat pada karbon, akan tetapi dengan jumlah kandungan yang sangat sedikit maka tidak banyak mempengaruhi kinerja dari elektroda karbon.

4.2.3 Analisis Elektrokimia

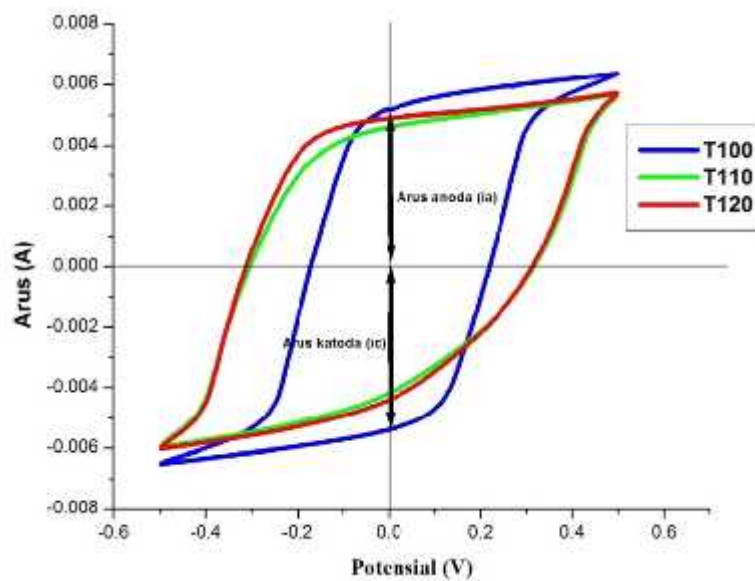
4.2.3.1 Uji *Cyclic Voltametri* (CV)

Setelah fabrikasi elektroda dilakukan maka selanjutnya adalah tahap dimana elektroda hasil fabrikasi diuji. Kegunaan uji ini adalah untuk mengetahui kemampuan elektroda karbon bertindak sebagai kapasitor dalam menyerap ion. Untuk alasan di atas maka hasil fabrikasi elektroda diuji menggunakan uji *Cyclic Voltametry* (CV).

Dari hasil uji ini maka kita akan mengetahui seberapa besar nilai spesifik kapasitansi elektroda karbon. Nilai spesifikasi inilah yang secara kualitatif menunjukan kemampuan dari fabrikasi elektroda karbon.

Uji *Cyclic Voltametry* menggunakan tiga buah elektroda kerja yakni elektroda referensi, elektroda bantu dan elektroda kerja. Pada uji ini, elektroda karbon bertindak sebagai elektroda kerja. Elektroda kerja merupakan elektroda yang ingin diketahui sifat-sifat elektrokimianya dan pada elektroda ini terjadi reaksi reaksi oksidasi dan reduksi. Selain elektroda kerja terdapat elektroda bantu dan elektroda referensi atau pembanding. Elektroda bantu bertindak sebagai penyalur electron sehingga arus dapat dilewatkan melalui sel. Elektroda referensi atau pembanding merupakan elektroda yang potensialnya dijaga agar tetap konstan sehingga dapat digunakan sebagai pembanding. Elektroda pembanding ini biasanya terbuat dari bahan inert seperti Ag/Ag Cl.

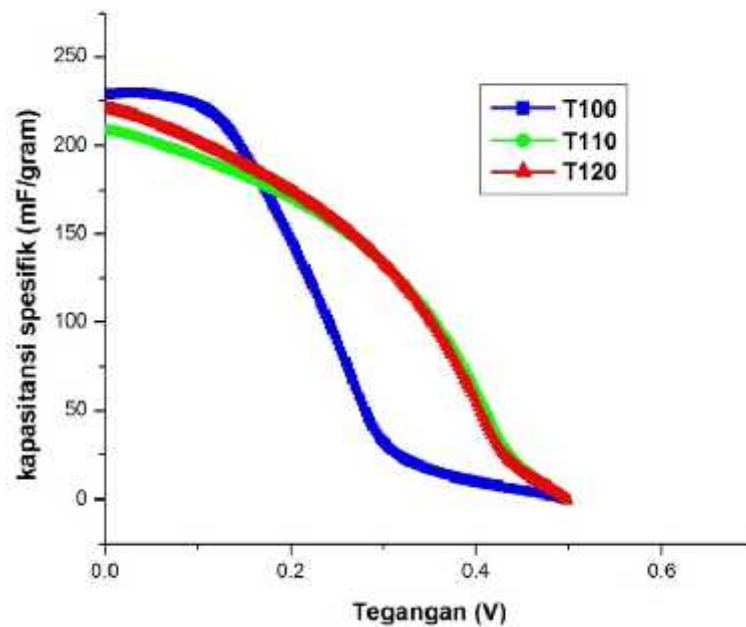
Pada uji CV untuk elektroda karbon ini diterapkan range tegangan -0.5 V sampai 0.5 V dengan larutan elektrolit KCl 0.5 M yang disapukan pada elektroda dengan *scanrate* 10 mV/s dalam 10 siklus.



Gambar 4.6 Perbandingan plot *Cyclic Voltametry* pada variasi elektroda T100, T110, dan T120 pada *swept rate* 10 mV/s

Pada voltamogram terlihat bahwa grafik yang terbentuk akibat perubahan tegangan yang diberikan terhadap arus saat terjadi reaksi oksidasi dan reduksi pada elektroda. Grafik yang terbentuk menunjukkan arus yang terdapat pada katoda dan anoda pada saat disapu dengan tegangan *swept rate* 10 mV/s pada interval tegangan -0.5 V sampai 0.5 V. Lebar kurva yang ditunjukkan oleh anak panah merupakan selisih arus katoda dan arus anoda pada setiap sapuannya. Lebar kurva yang terbentuk pada setiap grafik dapat merepresentasikan nilai kapasitansi dari elektroda (Ellys, 2014). Pada Gambar 4.6 terlihat bahwa pada elektroda T100 memiliki kurva yang lebih lebar dibanding dengan kurva elektroda T110 dan T120 hal ini juga menandakan bahwa nilai kapasitansi elektroda T100 adalah yang terbesar. Selain itu dapat dilihat kemiringan kurva pengisian pada antara -0.5 dan -0.1 yang menunjukkan resistansi elektroda karbon. Pada Gambar 4.6 terlihat bahwa resistansi elektroda T100 lebih tinggi dibanding dengan elektroda T120. Hal ini dikarenakan pada proses fabrikasi elektroda menggunakan suhu 100°C memungkinkan tidak terjadi ikatan silang yang lebih banyak dibanding dengan fabrikasi elektroda menggunakan suhu 120 °C. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Park (2011) yang menyimpulkan bahwa resistensi elektroda akan meningkat seiring penurunan suhu pemanasan pada proses *crosslink*.

Untuk mengetahui secara pasti nilai kapasitansi dari ketiga variasi elektroda yang telah difabrikasi maka perlu dilakukan perhitungan nilai kapasitansi spesifiknya. Perhitungan nilai kapasitansi pada uji CV ini dilakukan menggunakan rumus yang terdapat pada Persamaan 2.1. Hasil perhitungan nilai kapsitansi spesifik pada uji CV untuk setiap variasi elektroda karbon dapat dilihat pada Gambar 4.7.

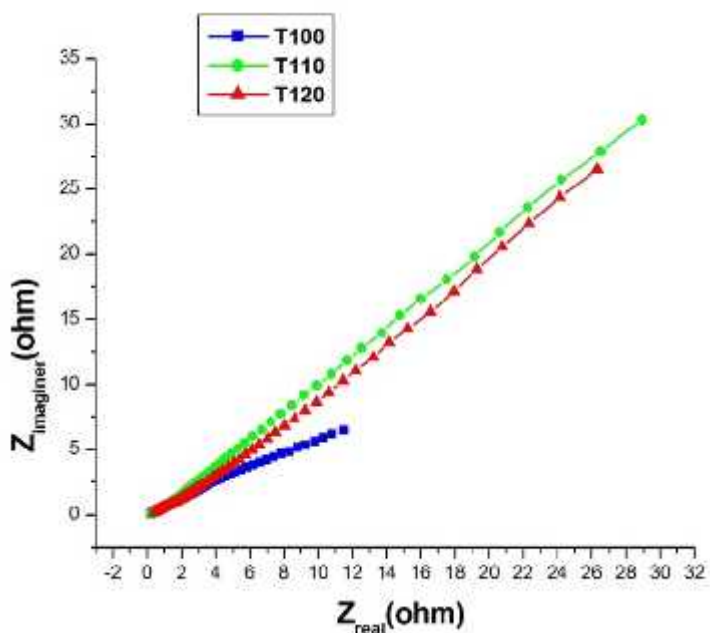


Gambar 4.7. Perbandingan hasil spesifik kapasitansi pada elektroda karbon T100, T110 dan T120.

Pada Gambar 4.7 terlihat bahwa nilai kapasitansi dari elektroda T100 mempunyai nilai kapasitansi yang lebih tinggi dari elektroda T110 maupun T120. Dari hasil perhitungan, elektroda dengan nilai kapasitansi tertinggi adalah elektroda T100 yakni 227.7 mF/gram, kemudian elektroda T120 yakni 221.4 mF/gram dan yang paling kecil adalah elektroda T110 dengan nilai 209.5 mF/gram.

4.2.3.2 Uji *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS)

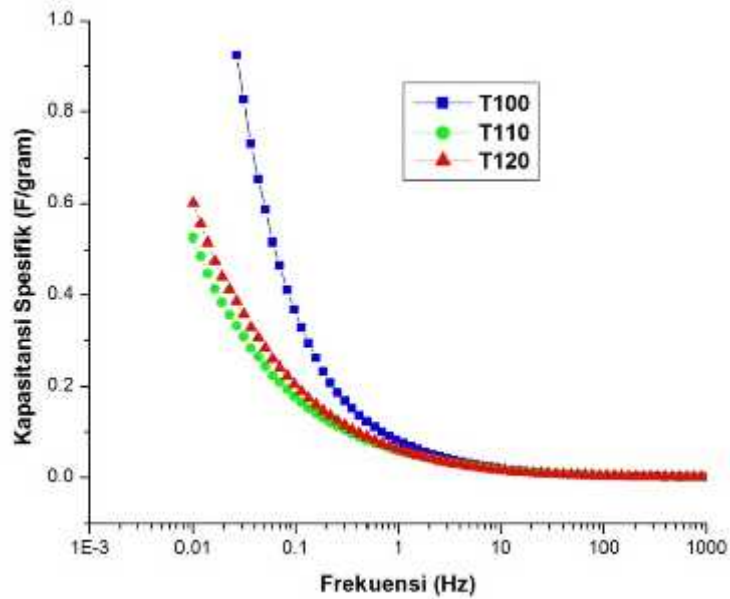
Uji *Electrical Impedance Spectroscopy* (EIS) dilakukan untuk menentukan nilai parameter kinetika elektrokimia yang berkaitan dengan besaran-besaran listrik seperti kapasitansi, resistansi dan induktansi.



Gambar 4.8 Plot Nyquist dari elektroda karbon dengan variasi elektroda karbon T100, T110 dan T120

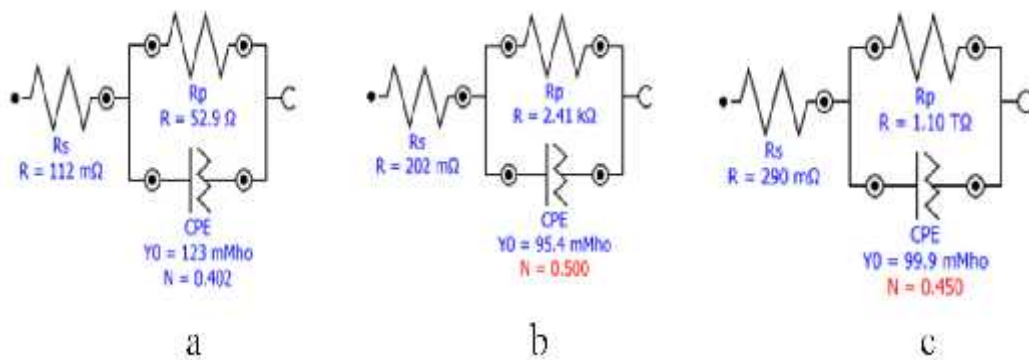
Gambar 4.8 merupakan plot nyquist dari elektroda karbon dengan variasi suhu karakterisasi elektroda karbon T100, T110, dan T120. Plot nyquist menunjukkan hubungan antara impedansi real (Z_{real}) dan impedansi imajiner ($Z_{imaginer}$) pada frekuensi tertentu. Semakin tegak grafik yang dihasilkan maka semakin baik sifat kapasitif yang diperoleh. Hal ini disebabkan dengan semakin tegaknya grafik plot nyquist maka menandakan sifat bahan elektroda lebih mengarah pada bahan kapasitor yang ditandai dengan meningkatnya nilai impedansi imajinernya. Dengan demikian dari Gambar 4.8 dapat disimpulkan bahwa elektroda karbon T110 memiliki sifat kapasitansi yang paling baik, diikuti T120 lalu elektroda T100.

Selain dapat mengetahui sifat dari elektroda karbon, dengan uji EIS, dapat kita ketahui pula nilai kapasitansi spesifik dari elektroda tersebut. Dengan menggunakan Persamaan 2.2 dapat dihitung nilai kapasitansi spesifik masing-masing elektroda karbon.



Gambar 4.9. Perbandingan hasil spesifik kapasitansi pada elektroda T100, elektroda T110, dan elektroda T120 dari uji EIS.

Nilai spesifik kapasitansi dari elektroda karbon ditunjukkan pada grafik dalam Gambar 4.9. Pada frekuensi 0.1 Hz diperoleh nilai spesifik kapasitansi elektroda karbon T100, T110, dan T120 berturut-turut adalah 0.92 F/g, 0.53 F/g, dan 0.6 F/g.

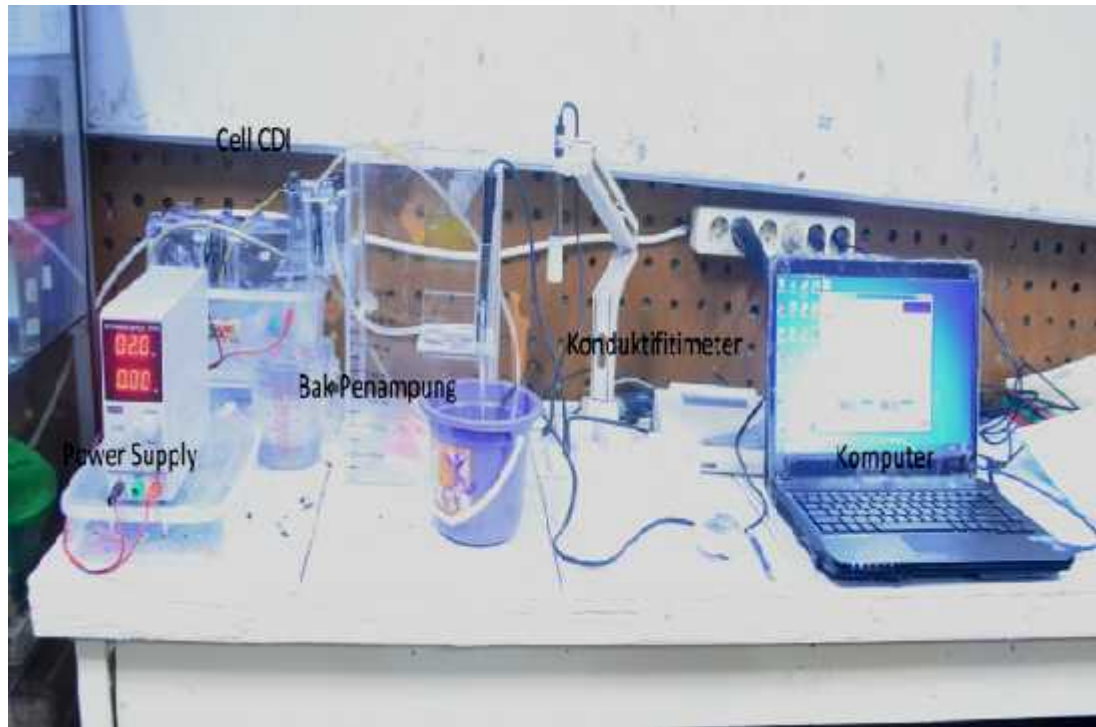


Gambar 4.10. *Equivalent circuit* dari plot Nyquist dari beberapa variasi elektroda karbon a) T100 b) T110 dan c) T120

Berdasarkan rangkaian ekuivalen seperti pada Gambar 4.10 diperoleh nilai kapasitansi dari elektroda karbon T100, elektroda T110, dan elektroda T120 masing-masing adalah 123 mMho, 95.4 mMho, dan 99.9 mMho. Hasil ini menunjukkan bahwa nilai kapasitansi dari elektroda karbon T100 memiliki nilai kapasitansi terbesar. Dari hasil ini juga menunjukkan hal yang sama dengan pengujian CV dimana pada elektroda karbon T100 memiliki nilai kapasitansi terbesar, diikuti oleh elektroda T120 dan elektroda T110

4.3. Pembuatan Sistem CDI

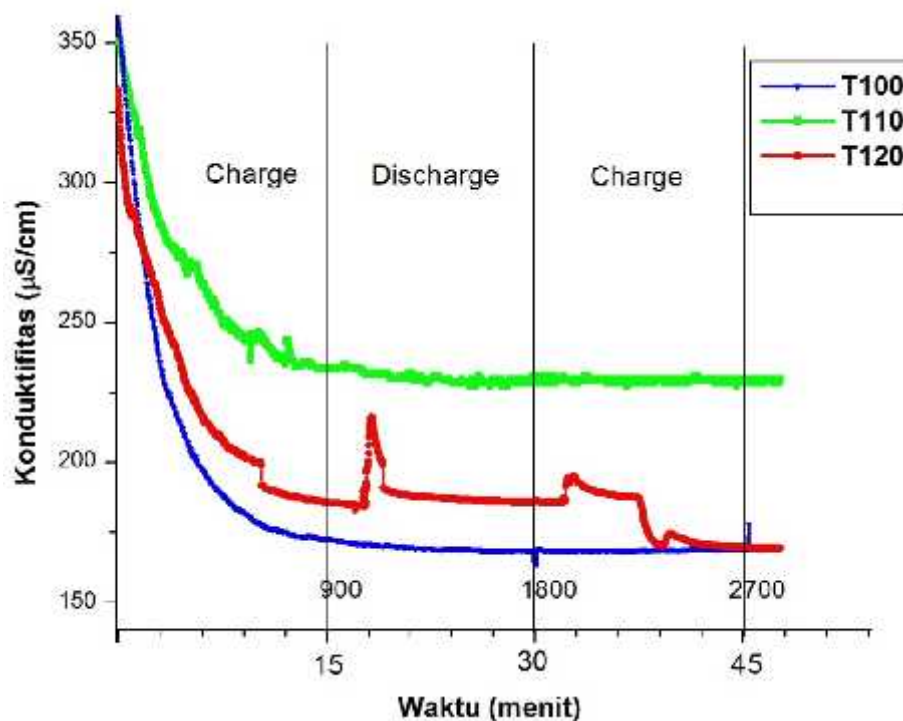
Elektroda yang telah difabrikasi akan dipasangkan menjadi sebuah sistem CDI. CDI ini sendiri disusun atas pasangan elektroda karbon yang disebut cell dan dipaket menggunakan akrilik menjadi sebuah kotak yang terdiri dari dua cell. Sistem desalinasi dirangkai seperti pada Gambar 4.11, terdiri dari pompa, wadah penampung lautan NaCl, cell CDI, konduktivimeter, dan power supply. Alur kerja pada sistem ini adalah air akan dipompa oleh pompa akuarium dari wadah menuju ke kotak cell CDI, pada saat melewati cell CDI akan terjadi proses desalinasi. Air hasil desalinasi yang keluar dari cell CDI akan diukur nilai konduktivitasnya menggunakan konduktivimeter. Dari nilai konduktivitas air yang terukur akan dihitung persentase pengurangan kadar garam menggunakan Persamaan 2.3.



Gambar 4.11 Sistem desalinasi berbasis CDI

4.4. Pengujian sistem CDI

Setelah pengujian morfologi dan elektrokimia, dilakukan juga pengujian performa desalinasi dari system CDI yang telah dibuat. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.12. Gambar 4.12 menunjukkan nilai adsorpsi dan deadsorpsi larutan NaCl pada variasi elektroda karbon T100, T110, dan T120.



Gambar 4.12 Perbandingan hasil desalinasi larutan NaCl pada cell CDI menggunakan variasi elektroda karbon T100, T110, dan T120

Data dicuplik secara online setiap detik dengan lama charge dan discharge masing-masing adalah 15 menit selama 45 menit. Larutan NaCl dengan konduktifitas 360 $\mu\text{S/cm}$ dilewatkan pada cell CDI pada kecepatan aliran 15 mL/menit. Tegangan yang diberikan oleh *power supply* pada kolektor arus cell CDI adalah sebesar 2 Volt. Hasil desalinasi yang ditunjukkan pada Gambar 4.12 menunjukkan bahwa proses pengurangan kandungan garam yang paling efektif terjadi pada saat 15 menit pertama. Hal ini dikarenakan pada awal proses deionisasi, elektroda karbon masih dalam keadaan tidak terisi ion, setelah terjadi proses deionisasi maka permukaan elektroda mulai ditempati oleh ion dan setelah beberapa saat kemudian ion yang terperangkap pada elektroda semakin banyak hingga pada akhirnya elektroda tidak lagi mampu menampung ion.

Selanjutnya, pada menit ke 15 dilakukan discharge atau pengosongan ion yang terdapat pada permukaan elektroda. Pada saat dilakukan discharge ion pada permukaan elektroda terlepas dan kembali terlarut dalam air sehingga meningkatkan konduktivitas larutan. Dari gambar 4.12 tampak elektroda T120 yang menunjukkan adanya peningkatan konduktivitas larutan, sedangkan pada elektroda T100 dan T110 tidak terlihat peningkatan konduktivitas. Dengan melihat hal di atas dapat dikatakan bahwa elektroda T120 memiliki sifat kapasitor yang baik, dimana mampu menampung dan melepas ion.

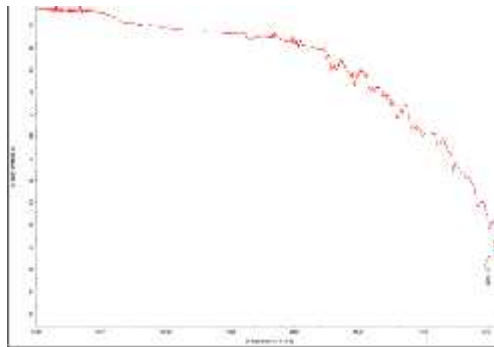
Persentase tertinggi pengurangan kadar garam NaCl adalah pada elektroda karbon T100 dengan nilai sebesar 52,71%. Selanjutnya elektroda T120 dengan persentase 49.15% dan terakhir elektroda T110 dengan persentase 35.04%. Hasil ini cocok dengan nilai kapasitansi yang diperoleh pada uji CV dan EIS untuk setiap variasi elektroda. Dari hasil ini juga, menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai kapasitansi elektroda karbon maka semakin tinggi kemampuan elektroda dalam menurunkan kadar garam dalam larutan NaCl.

Pada desalinasi dengan system CDI ini, banyak faktor yang mempengaruhi hasil desalinasi. Akan tetapi secara khusus faktor yang berperan penting adalah kemampuan dari elektroda itu sendiri. Faktor yang mempengaruhi kinerja elektroda karbon adalah sifat kapasitor dari elektroda karbon dan besar kapasitansinya. Dengan melihat sifat kapasitor dan besar kapasitansi dari masing-masing elektroda yang telah terukur di atas, maka dapat disimpulkan bahwa elektroda karbon T100 yang sangat cocok untuk digunakan sebagai elektroda untuk desalinasi dengan sistem CDI. Hal ini dikarenakan, elektroda T100 menunjukkan sifat kapasitor yang baik serta persentase pengurangan nilai kadar garam yang cukup tinggi.

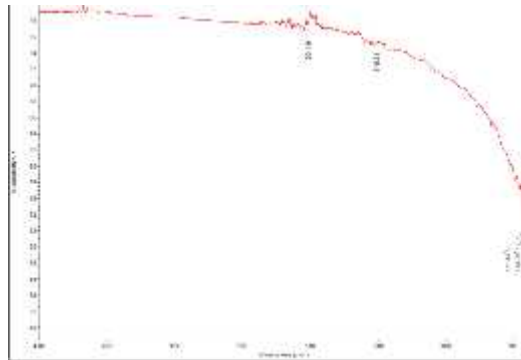
“Halaman ini sengaja dikosongkan”

LAMPIRAN

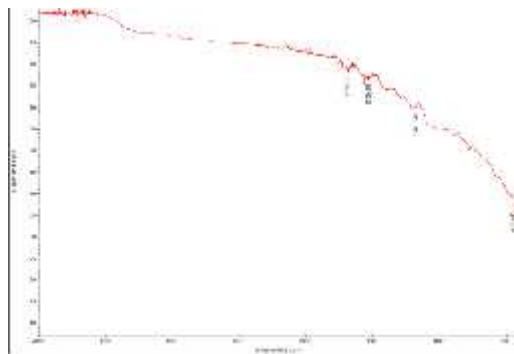
Lampiran 1. Data FTIR Elektroda Karbon dengan suhu pemanasan 100°C.



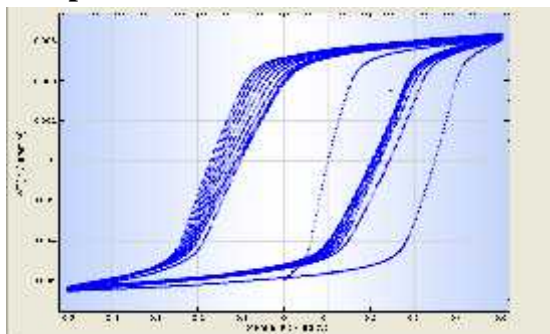
Lampiran 2. Data FTIR Elektroda Karbon dengan suhu pemanasan 110°C.



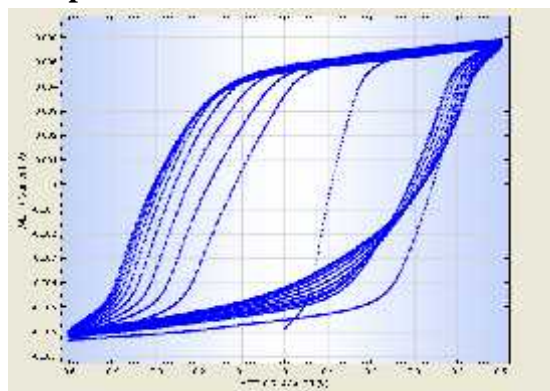
Lampiran 3. Data FTIR Elektroda Karbon dengan suhu pemanasan 120°C.



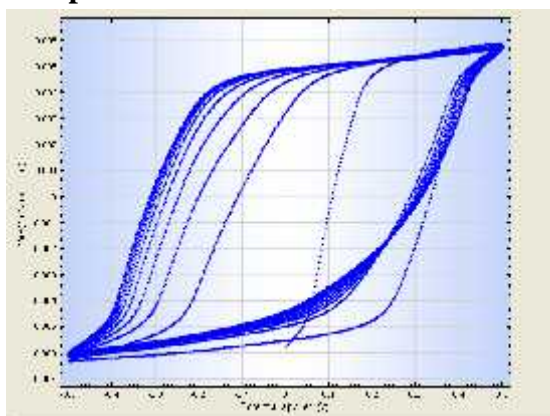
Lampiran 4. Data Hasil Analisa Cyclic Voltametry – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N) untuk elektroda 100°C, dengan larutan elektrolit 0.5 M KCl, range tegangan -5 V sampai 5 V dan scan rate 10 mV.



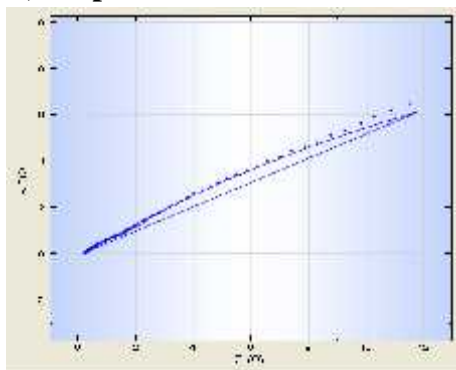
Lampiran 5. Data Hasil Analisa Cyclic Voltametry – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N) untuk elektroda 110°C, dengan larutan elektrolit 0.5 M KCl, range tegangan -5 V sampai 5 V dan scan rate 10 mV.



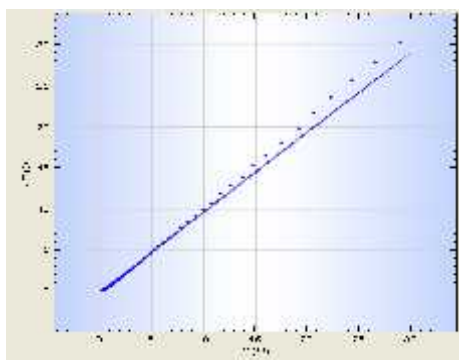
Lampiran 6. Data Hasil Analisa Cyclic Voltametry – Potensiostat Autolab (PGSTAT302N) untuk elektroda 120°C, dengan larutan elektrolit 0.5 M KCl, range tegangan -5 V sampai 5 V dan scan rate 10 mV.



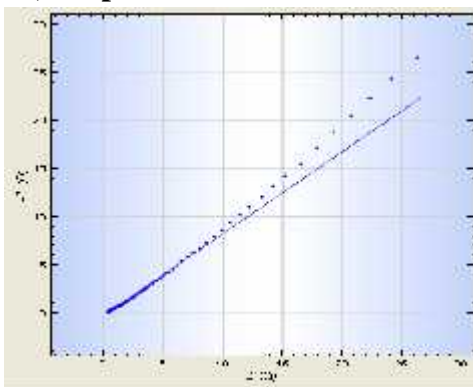
Lampiran 7. Plot Z' dan Z'' data Hasil Uji Electrochemical Impedance Spectroscopy untuk elektroda 100°C, dengan larutan elektrolit 0.5 M KCl, frekuensi 0.01-100000 Hz, Amplitudo 0.01 V



Lampiran 8. Plot Z' dan Z'' data Hasil Uji Electrochemical Impedance Spectroscopy untuk elektroda 110°C, dengan larutan elektrolit 0.5 M KCl, frekuensi 0.01-100000 Hz, Amplitudo 0.01 V



Lampiran 9. Plot Z' dan Z'' data Hasil Uji Electrochemical Impedance Spectroscopy untuk elektroda 120°C, dengan larutan elektrolit 0.5 M KCl, frekuensi 0.01-100000 Hz, Amplitudo 0.01 V



Lampiran 9. Pengukuran konduktivitas pada elektroda T100

--time--	pH	mV	unit	Cond	unit	TDS	unit	Salt	unit
15:49:59	6.32	36.3	mV	465	uS	233	ppm	234	ppm
15:50:00	6.32	36.3	mV	467	uS	234	ppm	235	ppm
15:50:01	6.32	36.3	mV	469	uS	235	ppm	236	ppm
15:50:02	6.32	36.3	mV	471	uS	236	ppm	237	ppm
15:50:03	6.32	36.3	mV	474	uS	237	ppm	238	ppm
15:50:04	6.32	36.3	mV	478	uS	239	ppm	240	ppm
15:50:05	6.32	36.3	mV	483	uS	242	ppm	243	ppm
15:50:06	6.32	36.3	mV	484	uS	242	ppm	243	ppm
15:50:07	6.32	36.3	mV	436	uS	218	ppm	219	ppm
15:50:08	6.32	36.3	mV	441	uS	221	ppm	222	ppm
15:50:09	6.32	36.3	mV	450	uS	225	ppm	226	ppm
15:50:10	6.32	36.3	mV	528	uS	264	ppm	265	ppm
15:50:11	6.32	36.3	mV	573	uS	287	ppm	288	ppm
15:50:12	6.32	36.3	mV	532	uS	266	ppm	267	ppm
15:50:13	6.32	36.3	mV	581	uS	291	ppm	292	ppm
15:50:14	6.32	36.3	mV	589	uS	295	ppm	296	ppm
15:50:15	6.32	36.3	mV	638	uS	319	ppm	321	ppm
15:50:16	6.32	36.3	mV	641	uS	321	ppm	322	ppm
15:50:17	6.32	36.3	mV	647	uS	324	ppm	325	ppm
15:50:18	6.32	36.3	mV	651	uS	326	ppm	327	ppm
15:50:19	6.32	36.3	mV	653	uS	327	ppm	328	ppm
15:50:20	6.32	36.3	mV	656	uS	328	ppm	330	ppm
15:50:21	6.32	36.3	mV	659	uS	330	ppm	331	ppm
15:50:22	6.32	36.3	mV	661	uS	331	ppm	332	ppm
15:50:23	6.32	36.3	mV	667	uS	334	ppm	335	ppm
15:50:24	6.32	36.3	mV	673	uS	337	ppm	338	ppm
15:50:25	6.32	36.3	mV	679	uS	340	ppm	341	ppm
15:50:26	6.32	36.3	mV	686	uS	343	ppm	345	ppm
15:50:27	6.32	36.3	mV	693	uS	347	ppm	348	ppm
15:50:28	6.32	36.3	mV	751	uS	376	ppm	377	ppm
15:50:29	6.32	36.3	mV	756	uS	378	ppm	380	ppm
15:50:30	6.32	36.4	mV	661	uS	331	ppm	332	ppm
15:50:31	6.32	36.4	mV	662	uS	331	ppm	333	ppm
15:50:32	6.32	36.3	mV	750	uS	375	ppm	377	ppm
15:50:33	6.32	36.3	mV	740	uS	370	ppm	372	ppm

15:50:34	6.32	36.3	mV	696	uS	348	ppm	350	ppm
15:50:35	6.32	36.3	mV	701	uS	351	ppm	352	ppm
15:50:36	6.32	36.3	mV	707	uS	354	ppm	355	ppm
15:50:37	6.32	36.3	mV	712	uS	356	ppm	358	ppm
15:50:38	6.32	36.3	mV	720	uS	360	ppm	362	ppm
15:50:39	6.32	36.3	mV	731	uS	366	ppm	367	ppm
15:50:40	6.32	36.3	mV	741	uS	371	ppm	372	ppm
15:50:41	6.32	36.3	mV	749	uS	375	ppm	376	ppm
15:50:42	6.32	36.3	mV	754	uS	377	ppm	379	ppm
15:50:43	6.32	36.3	mV	759	uS	380	ppm	381	ppm
15:50:44	6.32	36.3	mV	764	uS	382	ppm	384	ppm
15:50:45	6.32	36.3	mV	769	uS	385	ppm	386	ppm
15:50:46	6.32	36.3	mV	772	uS	386	ppm	388	ppm
15:50:47	6.32	36.3	mV	776	uS	388	ppm	390	ppm
15:50:48	6.32	36.3	mV	781	uS	391	ppm	392	ppm
15:50:49	6.32	36.3	mV	787	uS	394	ppm	395	ppm
15:50:50	6.32	36.3	mV	790	uS	395	ppm	397	ppm
15:50:51	6.32	36.3	mV	748	uS	374	ppm	376	ppm
15:50:52	6.32	36.3	mV	795	uS	398	ppm	399	ppm
15:50:53	6.32	36.3	mV	802	uS	401	ppm	403	ppm
15:50:54	6.32	36.3	mV	809	uS	405	ppm	407	ppm
15:50:55	6.32	36.3	mV	770	uS	385	ppm	387	ppm
15:50:56	6.32	36.3	mV	787	uS	394	ppm	395	ppm
15:50:57	6.32	36.3	mV	746	uS	373	ppm	375	ppm
15:50:58	6.32	36.3	mV	745	uS	373	ppm	374	ppm
15:50:59	6.32	36.3	mV	695	uS	348	ppm	349	ppm
15:51:00	6.32	36.3	mV	734	uS	367	ppm	369	ppm
15:51:01	6.32	36.3	mV	740	uS	370	ppm	372	ppm
15:51:02	6.32	36.3	mV	744	uS	372	ppm	374	ppm
15:51:03	6.32	36.3	mV	747	uS	374	ppm	375	ppm
15:51:04	6.32	36.3	mV	750	uS	375	ppm	377	ppm
15:51:05	6.32	36.3	mV	753	uS	377	ppm	378	ppm
15:51:06	6.32	36.3	mV	753	uS	377	ppm	378	ppm
15:51:07	6.32	36.3	mV	799	uS	400	ppm	401	ppm
15:51:08	6.32	36.3	mV	795	uS	398	ppm	399	ppm
15:51:09	6.32	36.3	mV	792	uS	396	ppm	398	ppm
15:51:10	6.32	36.3	mV	791	uS	396	ppm	397	ppm

15:51:11	6.32	36.3	mV	792	uS	396	ppm	398	ppm
15:51:12	6.32	36.3	mV	793	uS	397	ppm	398	ppm
15:51:13	6.32	36.3	mV	795	uS	398	ppm	399	ppm
15:51:14	6.32	36.3	mV	793	uS	397	ppm	398	ppm
15:51:15	6.32	36.3	mV	780	uS	390	ppm	392	ppm
15:51:16	6.32	36.3	mV	784	uS	392	ppm	394	ppm
15:51:17	6.32	36.3	mV	782	uS	391	ppm	393	ppm
15:51:18	6.32	36.3	mV	778	uS	389	ppm	391	ppm
15:51:19	6.32	36.3	mV	770	uS	385	ppm	387	ppm
15:51:20	6.32	36.3	mV	762	uS	381	ppm	383	ppm
15:51:21	6.32	36.3	mV	757	uS	379	ppm	380	ppm
15:51:22	6.32	36.3	mV	753	uS	377	ppm	378	ppm
15:51:23	6.32	36.3	mV	750	uS	375	ppm	377	ppm
15:51:24	6.32	36.3	mV	748	uS	374	ppm	376	ppm
15:51:25	6.32	36.3	mV	747	uS	374	ppm	375	ppm
15:51:26	6.32	36.3	mV	746	uS	373	ppm	375	ppm
15:51:27	6.32	36.3	mV	745	uS	373	ppm	374	ppm
15:51:28	6.32	36.3	mV	743	uS	372	ppm	373	ppm
15:51:29	6.32	36.3	mV	740	uS	370	ppm	372	ppm
15:51:30	6.32	36.3	mV	740	uS	370	ppm	372	ppm
15:51:31	6.32	36.3	mV	743	uS	372	ppm	373	ppm
15:51:32	6.32	36.3	mV	746	uS	373	ppm	375	ppm
15:51:33	6.32	36.3	mV	750	uS	375	ppm	377	ppm
15:51:34	6.32	36.3	mV	750	uS	375	ppm	377	ppm
15:51:35	6.32	36.3	mV	704	uS	352	ppm	354	ppm
15:51:36	6.32	36.3	mV	698	uS	349	ppm	351	ppm
15:51:37	6.32	36.3	mV	688	uS	344	ppm	346	ppm
15:51:38	6.32	36.3	mV	640	uS	320	ppm	322	ppm
15:51:39	6.32	36.3	mV	649	uS	325	ppm	326	ppm
15:51:40	6.32	36.2	mV	658	uS	329	ppm	331	ppm
15:51:41	6.32	36.2	mV	664	uS	332	ppm	334	ppm
15:51:42	6.32	36.2	mV	666	uS	333	ppm	335	ppm
15:51:43	6.32	36.2	mV	672	uS	336	ppm	338	ppm
15:51:44	6.32	36.2	mV	677	uS	339	ppm	340	ppm
15:51:45	6.32	36.2	mV	680	uS	340	ppm	342	ppm
15:51:46	6.32	36.2	mV	725	uS	363	ppm	364	ppm
15:51:47	6.32	36.2	mV	725	uS	363	ppm	364	ppm

15:51:48	6.32	36.2	mV	721	uS	361	ppm	362	ppm
15:51:49	6.32	36.2	mV	718	uS	359	ppm	361	ppm
15:51:50	6.32	36.2	mV	718	uS	359	ppm	361	ppm
15:51:51	6.32	36.2	mV	716	uS	358	ppm	360	ppm
15:51:52	6.32	36.2	mV	716	uS	358	ppm	360	ppm
15:51:53	6.32	36.2	mV	715	uS	358	ppm	359	ppm
15:51:54	6.32	36.2	mV	714	uS	357	ppm	359	ppm
15:51:55	6.32	36.2	mV	713	uS	357	ppm	358	ppm
15:51:56	6.32	36.2	mV	710	uS	355	ppm	357	ppm
15:51:57	6.32	36.2	mV	706	uS	353	ppm	355	ppm
15:51:58	6.32	36.2	mV	703	uS	352	ppm	353	ppm
15:51:59	6.32	36.2	mV	701	uS	351	ppm	352	ppm
15:52:00	6.32	36.2	mV	697	uS	349	ppm	350	ppm
15:52:01	6.32	36.2	mV	693	uS	347	ppm	348	ppm
15:52:02	6.32	36.2	mV	688	uS	344	ppm	346	ppm
15:52:03	6.32	36.2	mV	684	uS	342	ppm	344	ppm
15:52:04	6.32	36.2	mV	680	uS	340	ppm	342	ppm
15:52:05	6.32	36.2	mV	679	uS	340	ppm	341	ppm
15:52:06	6.32	36.2	mV	676	uS	338	ppm	340	ppm
15:52:07	6.32	36.2	mV	670	uS	335	ppm	337	ppm
15:52:08	6.32	36.2	mV	664	uS	332	ppm	334	ppm
15:52:09	6.32	36.2	mV	659	uS	330	ppm	331	ppm
15:52:10	6.32	36.2	mV	655	uS	328	ppm	329	ppm
15:52:11	6.32	36.2	mV	655	uS	328	ppm	329	ppm
15:52:12	6.32	36.2	mV	654	uS	327	ppm	329	ppm
15:52:13	6.32	36.2	mV	650	uS	325	ppm	327	ppm
15:52:14	6.32	36.2	mV	647	uS	324	ppm	325	ppm
15:52:15	6.32	36.2	mV	645	uS	323	ppm	324	ppm
15:52:16	6.32	36.2	mV	643	uS	322	ppm	323	ppm
15:52:17	6.32	36.2	mV	639	uS	320	ppm	321	ppm
15:52:18	6.32	36.2	mV	640	uS	320	ppm	322	ppm
15:52:19	6.32	36.2	mV	638	uS	319	ppm	321	ppm
15:52:20	6.32	36.2	mV	634	uS	317	ppm	319	ppm
15:52:21	6.32	36.2	mV	629	uS	315	ppm	316	ppm
15:52:22	6.32	36.2	mV	627	uS	314	ppm	315	ppm
15:52:23	6.32	36.2	mV	627	uS	314	ppm	315	ppm
15:52:24	6.32	36.2	mV	628	uS	314	ppm	316	ppm

15:52:25	6.32	36.2	mV	626	uS	313	ppm	315	ppm
15:52:26	6.32	36.2	mV	625	uS	313	ppm	314	ppm
15:52:27	6.32	36.2	mV	624	uS	312	ppm	314	ppm
15:52:28	6.32	36.2	mV	622	uS	311	ppm	313	ppm
15:52:29	6.32	36.2	mV	622	uS	311	ppm	313	ppm
15:52:30	6.32	36.2	mV	621	uS	311	ppm	312	ppm
15:52:31	6.32	36.1	mV	617	uS	309	ppm	310	ppm
15:52:32	6.32	36.2	mV	612	uS	306	ppm	308	ppm
15:52:33	6.32	36.2	mV	609	uS	305	ppm	306	ppm
15:52:34	6.32	36.1	mV	608	uS	304	ppm	306	ppm
15:52:35	6.32	36.1	mV	607	uS	304	ppm	305	ppm
15:52:36	6.32	36.1	mV	605	uS	303	ppm	304	ppm
15:52:37	6.32	36.1	mV	602	uS	301	ppm	303	ppm
15:52:38	6.32	36.1	mV	602	uS	301	ppm	303	ppm
15:52:39	6.32	36.1	mV	603	uS	302	ppm	303	ppm
15:52:40	6.32	36.1	mV	603	uS	302	ppm	303	ppm
15:52:41	6.32	36.1	mV	602	uS	301	ppm	303	ppm
15:52:42	6.32	36.1	mV	600	uS	300	ppm	302	ppm
15:52:43	6.32	36.1	mV	599	uS	300	ppm	301	ppm
15:52:44	6.32	36.1	mV	599	uS	300	ppm	301	ppm
15:52:45	6.32	36.1	mV	598	uS	299	ppm	300	ppm
15:52:46	6.32	36.1	mV	595	uS	298	ppm	299	ppm
15:52:47	6.32	36.1	mV	593	uS	297	ppm	298	ppm
15:52:48	6.32	36.1	mV	592	uS	296	ppm	297	ppm
15:52:49	6.32	36.1	mV	591	uS	296	ppm	297	ppm
15:52:50	6.32	36.1	mV	591	uS	296	ppm	297	ppm
15:52:51	6.32	36.1	mV	589	uS	295	ppm	296	ppm
15:52:52	6.32	36.1	mV	586	uS	293	ppm	294	ppm
15:52:53	6.32	36.1	mV	584	uS	292	ppm	293	ppm
15:52:54	6.32	36.1	mV	582	uS	291	ppm	292	ppm
15:52:55	6.32	36.1	mV	581	uS	291	ppm	292	ppm
15:52:56	6.32	36.1	mV	579	uS	290	ppm	291	ppm
15:52:57	6.32	36.1	mV	574	uS	287	ppm	288	ppm
15:52:58	6.32	36.1	mV	570	uS	285	ppm	286	ppm
15:52:59	6.32	36.1	mV	568	uS	284	ppm	285	ppm
15:53:00	6.32	36.1	mV	568	uS	284	ppm	285	ppm
15:53:01	6.32	36.1	mV	568	uS	284	ppm	285	ppm

15:53:02	6.32	36.1	mV	566	uS	283	ppm	284	ppm
15:53:03	6.32	36.1	mV	564	uS	282	ppm	283	ppm
15:53:04	6.32	36.1	mV	562	uS	281	ppm	282	ppm
15:53:05	6.32	36.1	mV	562	uS	281	ppm	282	ppm
15:53:06	6.32	36.1	mV	561	uS	281	ppm	282	ppm
15:53:07	6.32	36.1	mV	559	uS	280	ppm	281	ppm
15:53:08	6.32	36.1	mV	557	uS	279	ppm	280	ppm
15:53:09	6.32	36.1	mV	554	uS	277	ppm	278	ppm
15:53:10	6.32	36.1	mV	555	uS	278	ppm	279	ppm
15:53:11	6.32	36.1	mV	555	uS	278	ppm	279	ppm
15:53:12	6.32	36.1	mV	552	uS	276	ppm	277	ppm
15:53:13	6.32	36.1	mV	549	uS	275	ppm	276	ppm
15:53:14	6.32	36.1	mV	546	uS	273	ppm	274	ppm
15:53:15	6.32	36.1	mV	545	uS	273	ppm	274	ppm
15:53:16	6.32	36.1	mV	544	uS	272	ppm	273	ppm
15:53:17	6.32	36.1	mV	542	uS	271	ppm	272	ppm
15:53:18	6.32	36.1	mV	540	uS	270	ppm	271	ppm
15:53:19	6.32	36.1	mV	538	uS	269	ppm	270	ppm
15:53:20	6.32	36.1	mV	539	uS	270	ppm	271	ppm
15:53:21	6.32	36.1	mV	539	uS	270	ppm	271	ppm
15:53:22	6.32	36.1	mV	536	uS	268	ppm	269	ppm
15:53:23	6.32	36.1	mV	534	uS	267	ppm	268	ppm
15:53:24	6.32	36.1	mV	532	uS	266	ppm	267	ppm
15:53:25	6.32	36.1	mV	531	uS	266	ppm	267	ppm
15:53:26	6.32	36.1	mV	530	uS	265	ppm	266	ppm
15:53:27	6.32	36.1	mV	528	uS	264	ppm	265	ppm
15:53:28	6.32	36.1	mV	526	uS	263	ppm	264	ppm
15:53:29	6.32	36.1	mV	524	uS	262	ppm	263	ppm
15:53:30	6.32	36.1	mV	524	uS	262	ppm	263	ppm
15:53:31	6.32	36.1	mV	523	uS	262	ppm	263	ppm
15:53:32	6.32	36.1	mV	522	uS	261	ppm	262	ppm
15:53:33	6.32	36.1	mV	520	uS	260	ppm	261	ppm
15:53:34	6.32	36.1	mV	517	uS	259	ppm	260	ppm
15:53:35	6.32	36.1	mV	517	uS	259	ppm	260	ppm
15:53:36	6.32	36.1	mV	516	uS	258	ppm	259	ppm
15:53:37	6.32	36.1	mV	515	uS	258	ppm	259	ppm
15:53:38	6.32	36.1	mV	513	uS	257	ppm	258	ppm

15:53:39	6.32	36.1	mV	512	uS	256	ppm	257	ppm
15:53:40	6.32	36.1	mV	510	uS	255	ppm	256	ppm
15:53:41	6.32	36.1	mV	508	uS	254	ppm	255	ppm
15:53:42	6.32	36.1	mV	507	uS	254	ppm	255	ppm
15:53:43	6.32	36.1	mV	504	uS	252	ppm	253	ppm
15:53:44	6.32	36.1	mV	503	uS	252	ppm	253	ppm
15:53:45	6.32	36.1	mV	501	uS	251	ppm	252	ppm
15:53:46	6.32	36.1	mV	500	uS	250	ppm	251	ppm
15:53:47	6.32	36.1	mV	499	uS	250	ppm	251	ppm
15:53:48	6.32	36.1	mV	496	uS	248	ppm	249	ppm
15:53:49	6.32	36.1	mV	494	uS	247	ppm	248	ppm
15:53:50	6.32	36.1	mV	492	uS	246	ppm	247	ppm
15:53:51	6.32	36.1	mV	492	uS	246	ppm	247	ppm
15:53:52	6.32	36.1	mV	492	uS	246	ppm	247	ppm
15:53:53	6.32	36.1	mV	488	uS	244	ppm	245	ppm
15:53:54	6.32	36	mV	485	uS	243	ppm	244	ppm
15:53:55	6.32	36	mV	484	uS	242	ppm	243	ppm
15:53:56	6.32	36	mV	484	uS	242	ppm	243	ppm
15:53:57	6.32	36	mV	485	uS	243	ppm	244	ppm
15:53:58	6.32	36	mV	484	uS	242	ppm	243	ppm
15:53:59	6.32	36	mV	480	uS	240	ppm	241	ppm
15:54:00	6.32	36	mV	478	uS	239	ppm	240	ppm
15:54:01	6.32	36	mV	477	uS	239	ppm	240	ppm
15:54:02	6.32	36	mV	477	uS	239	ppm	240	ppm
15:54:03	6.32	36	mV	475	uS	238	ppm	239	ppm
15:54:04	6.32	36	mV	474	uS	237	ppm	238	ppm
15:54:05	6.32	36	mV	473	uS	237	ppm	238	ppm
15:54:06	6.32	36	mV	472	uS	236	ppm	237	ppm
15:54:07	6.32	36	mV	470	uS	235	ppm	236	ppm
15:54:08	6.32	36	mV	470	uS	235	ppm	236	ppm
15:54:09	6.32	36	mV	468	uS	234	ppm	235	ppm
15:54:10	6.32	36	mV	466	uS	233	ppm	234	ppm
15:54:11	6.32	36	mV	465	uS	233	ppm	234	ppm
15:54:12	6.32	36	mV	463	uS	232	ppm	233	ppm
15:54:13	6.32	36	mV	462	uS	231	ppm	232	ppm
15:54:14	6.32	36	mV	461	uS	231	ppm	232	ppm
15:54:15	6.32	36	mV	459	uS	230	ppm	231	ppm

15:54:16	6.32	36	mV	458	uS	229	ppm	230	ppm
15:54:17	6.32	36	mV	458	uS	229	ppm	230	ppm
15:54:18	6.32	36	mV	458	uS	229	ppm	230	ppm
15:54:19	6.32	36	mV	457	uS	229	ppm	230	ppm
15:54:20	6.32	36	mV	456	uS	228	ppm	229	ppm
15:54:21	6.32	36	mV	455	uS	228	ppm	229	ppm
15:54:22	6.32	36	mV	455	uS	228	ppm	229	ppm
15:54:23	6.32	36	mV	454	uS	227	ppm	228	ppm
15:54:24	6.32	36	mV	454	uS	227	ppm	228	ppm
15:54:25	6.32	36	mV	453	uS	227	ppm	228	ppm
15:54:26	6.32	36	mV	453	uS	227	ppm	228	ppm
15:54:27	6.32	36	mV	451	uS	226	ppm	227	ppm
15:54:28	6.32	36	mV	450	uS	225	ppm	226	ppm
15:54:29	6.32	36	mV	450	uS	225	ppm	226	ppm
15:54:30	6.32	36	mV	450	uS	225	ppm	226	ppm
15:54:31	6.32	36	mV	450	uS	225	ppm	226	ppm
15:54:32	6.32	36	mV	450	uS	225	ppm	226	ppm
15:54:33	6.32	36	mV	447	uS	224	ppm	225	ppm
15:54:34	6.32	36	mV	446	uS	223	ppm	224	ppm
15:54:35	6.32	36	mV	446	uS	223	ppm	224	ppm
15:54:36	6.32	36	mV	446	uS	223	ppm	224	ppm
15:54:37	6.32	36	mV	446	uS	223	ppm	224	ppm
15:54:38	6.32	36	mV	444	uS	222	ppm	223	ppm
15:54:39	6.32	36	mV	442	uS	221	ppm	222	ppm
15:54:40	6.32	36	mV	442	uS	221	ppm	222	ppm
15:54:41	6.32	36	mV	442	uS	221	ppm	222	ppm
15:54:42	6.32	36	mV	440	uS	220	ppm	221	ppm
15:54:43	6.32	36	mV	438	uS	219	ppm	220	ppm
15:54:44	6.32	36	mV	437	uS	219	ppm	220	ppm
15:54:45	6.32	36	mV	436	uS	218	ppm	219	ppm
15:54:46	6.32	36	mV	435	uS	218	ppm	219	ppm
15:54:47	6.32	36	mV	434	uS	217	ppm	218	ppm
15:54:48	6.32	36	mV	431	uS	216	ppm	217	ppm
15:54:49	6.32	36	mV	429	uS	215	ppm	216	ppm
15:54:50	6.32	36	mV	428	uS	214	ppm	215	ppm
15:54:51	6.33	36	mV	429	uS	215	ppm	216	ppm
15:54:52	6.33	36	mV	427	uS	214	ppm	215	ppm

15:54:53	6.33	36	mV	425	uS	213	ppm	214	ppm
15:54:54	6.33	36	mV	424	uS	212	ppm	213	ppm
15:54:55	6.33	36	mV	422	uS	211	ppm	212	ppm
15:54:56	6.33	36	mV	422	uS	211	ppm	212	ppm
15:54:57	6.33	36	mV	421	uS	211	ppm	212	ppm
15:54:58	6.33	36	mV	420	uS	210	ppm	211	ppm
15:54:59	6.33	36	mV	419	uS	210	ppm	211	ppm
15:55:00	6.33	36	mV	418	uS	209	ppm	210	ppm
15:55:01	6.33	36	mV	417	uS	209	ppm	210	ppm
15:55:02	6.33	36	mV	416	uS	208	ppm	209	ppm
15:55:03	6.33	36	mV	415	uS	208	ppm	209	ppm
15:55:04	6.33	36	mV	414	uS	207	ppm	208	ppm
15:55:05	6.33	36	mV	412	uS	206	ppm	207	ppm
15:55:06	6.33	36	mV	411	uS	206	ppm	207	ppm
15:55:07	6.33	36	mV	411	uS	206	ppm	207	ppm
15:55:08	6.33	36	mV	410	uS	205	ppm	206	ppm
15:55:09	6.33	36	mV	409	uS	205	ppm	206	ppm
15:55:10	6.33	36	mV	407	uS	204	ppm	205	ppm
15:55:11	6.33	36	mV	407	uS	204	ppm	205	ppm
15:55:12	6.33	36	mV	406	uS	203	ppm	204	ppm
15:55:13	6.33	36	mV	406	uS	203	ppm	204	ppm
15:55:14	6.33	36	mV	405	uS	203	ppm	204	ppm
15:55:15	6.33	36	mV	404	uS	202	ppm	203	ppm
15:55:16	6.33	36	mV	403	uS	202	ppm	203	ppm
15:55:17	6.33	36	mV	402	uS	201	ppm	202	ppm
15:55:18	6.33	36	mV	402	uS	201	ppm	202	ppm
15:55:19	6.33	36	mV	400	uS	200	ppm	201	ppm
15:55:20	6.33	36	mV	399	uS	200	ppm	200	ppm
15:55:21	6.33	36	mV	399	uS	200	ppm	200	ppm
15:55:22	6.33	36	mV	398	uS	199	ppm	200	ppm
15:55:23	6.33	36	mV	396	uS	198	ppm	199	ppm
15:55:24	6.33	36	mV	396	uS	198	ppm	199	ppm
15:55:25	6.33	36	mV	395	uS	198	ppm	198	ppm
15:55:26	6.33	36	mV	395	uS	198	ppm	198	ppm
15:55:27	6.33	36	mV	394	uS	197	ppm	198	ppm
15:55:28	6.33	36	mV	392	uS	196	ppm	197	ppm
15:55:29	6.33	36	mV	392	uS	196	ppm	197	ppm

15:55:30	6.33	36	mV	391	uS	196	ppm	196	ppm
15:55:31	6.33	36	mV	391	uS	196	ppm	196	ppm
15:55:32	6.33	36	mV	390	uS	195	ppm	196	ppm
15:55:33	6.33	36	mV	389	uS	195	ppm	195	ppm
15:55:34	6.33	36	mV	388	uS	194	ppm	195	ppm
15:55:35	6.33	36	mV	387	uS	194	ppm	194	ppm
15:55:36	6.33	36	mV	387	uS	194	ppm	194	ppm
15:55:37	6.33	36	mV	385	uS	193	ppm	193	ppm
15:55:38	6.33	36	mV	384	uS	192	ppm	193	ppm
15:55:39	6.33	36	mV	384	uS	192	ppm	193	ppm
15:55:40	6.33	36	mV	384	uS	192	ppm	193	ppm
15:55:41	6.33	36	mV	382	uS	191	ppm	192	ppm
15:55:42	6.33	36	mV	382	uS	191	ppm	192	ppm
15:55:43	6.33	35.9	mV	382	uS	191	ppm	192	ppm
15:55:44	6.33	35.9	mV	381	uS	191	ppm	191	ppm
15:55:45	6.33	35.9	mV	380	uS	190	ppm	191	ppm
15:55:46	6.33	35.9	mV	378	uS	189	ppm	190	ppm
15:55:47	6.33	35.9	mV	377	uS	189	ppm	189	ppm
15:55:48	6.33	35.9	mV	377	uS	189	ppm	189	ppm
15:55:49	6.33	35.9	mV	376	uS	188	ppm	189	ppm
15:55:50	6.33	35.9	mV	376	uS	188	ppm	189	ppm
15:55:51	6.33	35.9	mV	376	uS	188	ppm	189	ppm
15:55:52	6.33	35.9	mV	375	uS	188	ppm	188	ppm
15:55:53	6.33	35.9	mV	374	uS	187	ppm	188	ppm
15:55:54	6.33	35.9	mV	374	uS	187	ppm	188	ppm
15:55:55	6.33	35.9	mV	375	uS	188	ppm	188	ppm
15:55:56	6.33	35.9	mV	375	uS	188	ppm	188	ppm
15:55:57	6.33	35.9	mV	373	uS	187	ppm	187	ppm
15:55:58	6.33	35.9	mV	373	uS	187	ppm	187	ppm
15:55:59	6.33	35.9	mV	373	uS	187	ppm	187	ppm
15:56:00	6.33	35.9	mV	373	uS	187	ppm	187	ppm
15:56:01	6.33	35.9	mV	373	uS	187	ppm	187	ppm
15:56:02	6.33	35.9	mV	372	uS	186	ppm	187	ppm
15:56:03	6.33	35.9	mV	371	uS	186	ppm	186	ppm
15:56:04	6.33	35.9	mV	371	uS	186	ppm	186	ppm
15:56:05	6.33	35.9	mV	371	uS	186	ppm	186	ppm
15:56:06	6.33	35.9	mV	371	uS	186	ppm	186	ppm

15:56:07	6.33	35.9	mV	369	uS	185	ppm	185	ppm
15:56:08	6.33	35.9	mV	369	uS	185	ppm	185	ppm
15:56:09	6.33	35.9	mV	369	uS	185	ppm	185	ppm
15:56:10	6.33	35.9	mV	368	uS	184	ppm	185	ppm
15:56:11	6.33	35.9	mV	367	uS	184	ppm	184	ppm
15:56:12	6.33	35.9	mV	367	uS	184	ppm	184	ppm
15:56:13	6.33	35.9	mV	366	uS	183	ppm	184	ppm
15:56:14	6.33	35.9	mV	366	uS	183	ppm	184	ppm
15:56:15	6.33	35.9	mV	366	uS	183	ppm	184	ppm
15:56:16	6.33	35.9	mV	365	uS	183	ppm	183	ppm
15:56:17	6.33	35.9	mV	364	uS	182	ppm	183	ppm
15:56:18	6.33	35.9	mV	363	uS	182	ppm	182	ppm
15:56:19	6.33	35.9	mV	363	uS	182	ppm	182	ppm
15:56:20	6.33	35.9	mV	363	uS	182	ppm	182	ppm
15:56:21	6.33	35.9	mV	363	uS	182	ppm	182	ppm
15:56:22	6.33	35.9	mV	363	uS	182	ppm	182	ppm
15:56:23	6.33	35.9	mV	362	uS	181	ppm	182	ppm
15:56:24	6.33	35.9	mV	362	uS	181	ppm	182	ppm
15:56:25	6.33	35.9	mV	361	uS	181	ppm	181	ppm
15:56:26	6.33	35.9	mV	359	uS	180	ppm	180	ppm
15:56:27	6.33	35.9	mV	358	uS	179	ppm	180	ppm
15:56:28	6.33	35.9	mV	358	uS	179	ppm	180	ppm
15:56:29	6.33	35.9	mV	357	uS	179	ppm	179	ppm
15:56:30	6.33	35.9	mV	357	uS	179	ppm	179	ppm
15:56:31	6.33	35.9	mV	356	uS	178	ppm	179	ppm
15:56:32	6.33	35.9	mV	355	uS	178	ppm	178	ppm
15:56:33	6.33	35.9	mV	355	uS	178	ppm	178	ppm
15:56:34	6.33	35.9	mV	355	uS	178	ppm	178	ppm
15:56:35	6.33	35.9	mV	354	uS	177	ppm	178	ppm
15:56:36	6.33	35.9	mV	353	uS	177	ppm	177	ppm
15:56:37	6.33	35.9	mV	352	uS	176	ppm	177	ppm
15:56:38	6.33	35.9	mV	352	uS	176	ppm	177	ppm
15:56:39	6.33	35.9	mV	352	uS	176	ppm	177	ppm
15:56:40	6.33	35.9	mV	352	uS	176	ppm	177	ppm
15:56:41	6.33	35.9	mV	351	uS	176	ppm	176	ppm
15:56:42	6.33	35.9	mV	350	uS	175	ppm	176	ppm
15:56:43	6.33	35.9	mV	350	uS	175	ppm	176	ppm

15:56:44	6.33	35.9	mV	350	uS	175	ppm	176	ppm
15:56:45	6.33	35.9	mV	350	uS	175	ppm	176	ppm
15:56:46	6.33	35.9	mV	350	uS	175	ppm	176	ppm
15:56:47	6.33	35.9	mV	350	uS	175	ppm	176	ppm
15:56:48	6.33	35.9	mV	348	uS	174	ppm	175	ppm
15:56:49	6.33	35.9	mV	348	uS	174	ppm	175	ppm
15:56:50	6.33	35.9	mV	347	uS	174	ppm	174	ppm
15:56:51	6.33	35.9	mV	347	uS	174	ppm	174	ppm
15:56:52	6.33	35.9	mV	347	uS	174	ppm	174	ppm
15:56:53	6.33	35.9	mV	346	uS	173	ppm	174	ppm
15:56:54	6.33	35.9	mV	346	uS	173	ppm	174	ppm
15:56:55	6.33	35.9	mV	345	uS	173	ppm	173	ppm
15:56:56	6.33	35.9	mV	345	uS	173	ppm	173	ppm
15:56:57	6.33	35.9	mV	344	uS	172	ppm	173	ppm
15:56:58	6.33	35.9	mV	344	uS	172	ppm	173	ppm
15:56:59	6.33	35.9	mV	343	uS	172	ppm	172	ppm
15:57:00	6.33	35.9	mV	343	uS	172	ppm	172	ppm
15:57:01	6.33	35.9	mV	342	uS	171	ppm	172	ppm
15:57:02	6.33	35.9	mV	342	uS	171	ppm	172	ppm
15:57:03	6.33	35.9	mV	341	uS	171	ppm	171	ppm
15:57:04	6.33	35.9	mV	341	uS	171	ppm	171	ppm
15:57:05	6.33	35.9	mV	341	uS	171	ppm	171	ppm
15:57:06	6.33	35.9	mV	340	uS	170	ppm	171	ppm
15:57:07	6.33	35.9	mV	339	uS	170	ppm	170	ppm
15:57:08	6.33	35.9	mV	340	uS	170	ppm	171	ppm
15:57:09	6.33	35.9	mV	340	uS	170	ppm	171	ppm
15:57:10	6.33	35.9	mV	338	uS	169	ppm	170	ppm
15:57:11	6.33	35.9	mV	338	uS	169	ppm	170	ppm
15:57:12	6.33	35.9	mV	338	uS	169	ppm	170	ppm
15:57:13	6.33	35.9	mV	338	uS	169	ppm	170	ppm
15:57:14	6.33	35.9	mV	337	uS	169	ppm	169	ppm
15:57:15	6.33	35.9	mV	337	uS	169	ppm	169	ppm
15:57:16	6.33	35.9	mV	337	uS	169	ppm	169	ppm
15:57:17	6.33	35.9	mV	336	uS	168	ppm	169	ppm
15:57:18	6.33	35.9	mV	335	uS	168	ppm	168	ppm
15:57:19	6.33	35.9	mV	335	uS	168	ppm	168	ppm
15:57:20	6.33	35.9	mV	335	uS	168	ppm	168	ppm

15:57:21	6.33	35.9	mV	334	uS	167	ppm	168	ppm
15:57:22	6.33	35.9	mV	333	uS	167	ppm	167	ppm
15:57:23	6.33	35.9	mV	333	uS	167	ppm	167	ppm
15:57:24	6.33	35.9	mV	332	uS	166	ppm	167	ppm
15:57:25	6.33	35.9	mV	333	uS	167	ppm	167	ppm
15:57:26	6.33	35.9	mV	331	uS	166	ppm	166	ppm
15:57:27	6.33	35.9	mV	331	uS	166	ppm	166	ppm
15:57:28	6.33	35.9	mV	331	uS	166	ppm	166	ppm
15:57:29	6.33	35.9	mV	331	uS	166	ppm	166	ppm
15:57:30	6.33	35.9	mV	329	uS	165	ppm	165	ppm
15:57:31	6.33	35.9	mV	329	uS	165	ppm	165	ppm
15:57:32	6.33	35.9	mV	329	uS	165	ppm	165	ppm
15:57:33	6.33	35.9	mV	329	uS	165	ppm	165	ppm
15:57:34	6.33	35.9	mV	328	uS	164	ppm	165	ppm
15:57:35	6.33	35.9	mV	327	uS	164	ppm	164	ppm
15:57:36	6.33	35.9	mV	327	uS	164	ppm	164	ppm
15:57:37	6.33	35.9	mV	327	uS	164	ppm	164	ppm
15:57:38	6.33	35.9	mV	327	uS	164	ppm	164	ppm
15:57:39	6.33	35.9	mV	326	uS	163	ppm	164	ppm
15:57:40	6.33	35.9	mV	326	uS	163	ppm	164	ppm
15:57:41	6.33	35.9	mV	326	uS	163	ppm	164	ppm
15:57:42	6.33	35.9	mV	326	uS	163	ppm	164	ppm
15:57:43	6.33	35.9	mV	326	uS	163	ppm	164	ppm
15:57:44	6.33	35.9	mV	325	uS	163	ppm	163	ppm
15:57:45	6.33	35.9	mV	325	uS	163	ppm	163	ppm
15:57:46	6.33	35.9	mV	325	uS	163	ppm	163	ppm
15:57:47	6.33	35.9	mV	325	uS	163	ppm	163	ppm
15:57:48	6.33	35.9	mV	324	uS	162	ppm	163	ppm
15:57:49	6.33	35.9	mV	324	uS	162	ppm	163	ppm
15:57:50	6.33	35.9	mV	324	uS	162	ppm	163	ppm
15:57:51	6.33	35.9	mV	324	uS	162	ppm	163	ppm
15:57:52	6.33	36	mV	323	uS	162	ppm	162	ppm
15:57:53	6.33	36	mV	323	uS	162	ppm	162	ppm
15:57:54	6.33	36	mV	323	uS	162	ppm	162	ppm
15:57:55	6.33	36	mV	323	uS	162	ppm	162	ppm
15:57:56	6.33	36	mV	322	uS	161	ppm	162	ppm
15:57:57	6.33	36	mV	322	uS	161	ppm	162	ppm

15:57:58	6.33	36	mV	322	uS	161	ppm	162	ppm
15:57:59	6.33	36	mV	322	uS	161	ppm	162	ppm
15:58:00	6.33	36	mV	321	uS	161	ppm	161	ppm
15:58:01	6.33	36	mV	320	uS	160	ppm	161	ppm
15:58:02	6.33	36	mV	319	uS	160	ppm	160	ppm
15:58:03	6.33	36	mV	319	uS	160	ppm	160	ppm
15:58:04	6.33	36	mV	318	uS	159	ppm	160	ppm
15:58:05	6.33	36	mV	318	uS	159	ppm	160	ppm
15:58:06	6.33	36	mV	318	uS	159	ppm	160	ppm
15:58:07	6.33	36	mV	317	uS	159	ppm	159	ppm
15:58:08	6.33	36	mV	318	uS	159	ppm	160	ppm
15:58:09	6.33	36	mV	319	uS	160	ppm	160	ppm
15:58:10	6.33	36	mV	319	uS	160	ppm	160	ppm
15:58:11	6.33	36	mV	318	uS	159	ppm	160	ppm
15:58:12	6.33	36	mV	318	uS	159	ppm	160	ppm
15:58:13	6.33	36	mV	318	uS	159	ppm	160	ppm
15:58:14	6.33	36	mV	319	uS	160	ppm	160	ppm
15:58:15	6.33	36	mV	317	uS	159	ppm	159	ppm
15:58:16	6.33	36	mV	317	uS	159	ppm	159	ppm
15:58:17	6.33	36	mV	317	uS	159	ppm	159	ppm
15:58:18	6.33	36	mV	317	uS	159	ppm	159	ppm
15:58:19	6.33	36	mV	317	uS	159	ppm	159	ppm
15:58:20	6.33	36	mV	315	uS	158	ppm	158	ppm
15:58:21	6.33	36	mV	314	uS	157	ppm	158	ppm
15:58:22	6.33	36	mV	315	uS	158	ppm	158	ppm
15:58:23	6.33	36	mV	315	uS	158	ppm	158	ppm
15:58:24	6.33	36	mV	313	uS	157	ppm	157	ppm
15:58:25	6.33	36	mV	312	uS	156	ppm	157	ppm
15:58:26	6.33	36	mV	312	uS	156	ppm	157	ppm
15:58:27	6.33	36	mV	312	uS	156	ppm	157	ppm
15:58:28	6.33	36	mV	311	uS	156	ppm	156	ppm
15:58:29	6.33	36	mV	310	uS	155	ppm	156	ppm
15:58:30	6.33	36	mV	310	uS	155	ppm	156	ppm
15:58:31	6.33	36	mV	310	uS	155	ppm	156	ppm
15:58:32	6.33	36	mV	309	uS	155	ppm	155	ppm
15:58:33	6.33	36	mV	309	uS	155	ppm	155	ppm
15:58:34	6.33	36	mV	307	uS	154	ppm	154	ppm

15:58:35	6.33	36	mV	307	uS	154	ppm	154	ppm
15:58:36	6.33	36	mV	307	uS	154	ppm	154	ppm
15:58:37	6.33	36	mV	306	uS	153	ppm	154	ppm
15:58:38	6.33	36	mV	305	uS	153	ppm	153	ppm
15:58:39	6.33	36	mV	305	uS	153	ppm	153	ppm
15:58:40	6.33	36	mV	305	uS	153	ppm	153	ppm
15:58:41	6.33	36	mV	304	uS	152	ppm	153	ppm
15:58:42	6.33	36	mV	304	uS	152	ppm	153	ppm
15:58:43	6.32	36	mV	303	uS	152	ppm	152	ppm
15:58:44	6.32	36	mV	303	uS	152	ppm	152	ppm
15:58:45	6.32	36	mV	303	uS	152	ppm	152	ppm
15:58:46	6.32	36	mV	302	uS	151	ppm	152	ppm
15:58:47	6.32	36	mV	302	uS	151	ppm	152	ppm
15:58:48	6.32	36	mV	302	uS	151	ppm	152	ppm
15:58:49	6.32	36	mV	301	uS	151	ppm	151	ppm
15:58:50	6.32	36	mV	300	uS	150	ppm	151	ppm
15:58:51	6.32	36	mV	300	uS	150	ppm	151	ppm
15:58:52	6.32	36	mV	300	uS	150	ppm	151	ppm
15:58:53	6.32	36	mV	299	uS	150	ppm	150	ppm
15:58:54	6.32	36	mV	298	uS	149	ppm	150	ppm
15:58:55	6.32	36	mV	298	uS	149	ppm	150	ppm
15:58:56	6.32	36	mV	299	uS	150	ppm	150	ppm
15:58:57	6.32	36	mV	298	uS	149	ppm	150	ppm
15:58:58	6.32	36	mV	296	uS	148	ppm	149	ppm
15:58:59	6.32	36	mV	296	uS	148	ppm	149	ppm
15:59:00	6.32	36	mV	297	uS	149	ppm	149	ppm
15:59:01	6.32	36	mV	296	uS	148	ppm	149	ppm
15:59:02	6.32	36	mV	295	uS	148	ppm	148	ppm
15:59:03	6.32	36	mV	295	uS	148	ppm	148	ppm
15:59:04	6.32	36	mV	295	uS	148	ppm	148	ppm
15:59:05	6.32	36	mV	295	uS	148	ppm	148	ppm
15:59:06	6.32	36	mV	295	uS	148	ppm	148	ppm
15:59:07	6.32	36	mV	294	uS	147	ppm	148	ppm
15:59:08	6.32	36	mV	294	uS	147	ppm	148	ppm
15:59:09	6.32	36.1	mV	293	uS	147	ppm	147	ppm
15:59:10	6.32	36.1	mV	293	uS	147	ppm	147	ppm
15:59:11	6.32	36.1	mV	292	uS	146	ppm	147	ppm

15:59:12	6.32	36.1	mV	293	uS	147	ppm	147	ppm
15:59:13	6.32	36.1	mV	293	uS	147	ppm	147	ppm
15:59:14	6.32	36.1	mV	291	uS	146	ppm	146	ppm
15:59:15	6.32	36.1	mV	292	uS	146	ppm	147	ppm
15:59:16	6.32	36.1	mV	292	uS	146	ppm	147	ppm
15:59:17	6.32	36.1	mV	292	uS	146	ppm	147	ppm
15:59:18	6.32	36.1	mV	291	uS	146	ppm	146	ppm
15:59:19	6.32	36.1	mV	291	uS	146	ppm	146	ppm
15:59:20	6.32	36.1	mV	290	uS	145	ppm	146	ppm
15:59:21	6.32	36.1	mV	290	uS	145	ppm	146	ppm
15:59:22	6.32	36.1	mV	289	uS	145	ppm	145	ppm
15:59:23	6.32	36.1	mV	289	uS	145	ppm	145	ppm
15:59:24	6.32	36.1	mV	289	uS	145	ppm	145	ppm
15:59:25	6.32	36.1	mV	289	uS	145	ppm	145	ppm
15:59:26	6.32	36.1	mV	288	uS	144	ppm	145	ppm
15:59:27	6.32	36.1	mV	288	uS	144	ppm	145	ppm
15:59:28	6.32	36.1	mV	289	uS	145	ppm	145	ppm
15:59:29	6.32	36.1	mV	288	uS	144	ppm	145	ppm
15:59:30	6.32	36.1	mV	288	uS	144	ppm	145	ppm
15:59:31	6.32	36.1	mV	289	uS	145	ppm	145	ppm
15:59:32	6.32	36.1	mV	288	uS	144	ppm	145	ppm
15:59:33	6.32	36.1	mV	288	uS	144	ppm	145	ppm
15:59:34	6.32	36.1	mV	288	uS	144	ppm	145	ppm
15:59:35	6.32	36.1	mV	287	uS	144	ppm	144	ppm
15:59:36	6.32	36.1	mV	287	uS	144	ppm	144	ppm
15:59:37	6.32	36.1	mV	287	uS	144	ppm	144	ppm
15:59:38	6.32	36.1	mV	286	uS	143	ppm	144	ppm
15:59:39	6.32	36.1	mV	286	uS	143	ppm	144	ppm
15:59:40	6.32	36.1	mV	285	uS	143	ppm	143	ppm
15:59:41	6.32	36.1	mV	286	uS	143	ppm	144	ppm
15:59:42	6.32	36.1	mV	286	uS	143	ppm	144	ppm
15:59:43	6.32	36.1	mV	285	uS	143	ppm	143	ppm
15:59:44	6.32	36.1	mV	285	uS	143	ppm	143	ppm
15:59:45	6.32	36.1	mV	285	uS	143	ppm	143	ppm
15:59:46	6.32	36.1	mV	285	uS	143	ppm	143	ppm
15:59:47	6.32	36.1	mV	285	uS	143	ppm	143	ppm
15:59:48	6.32	36.1	mV	284	uS	142	ppm	143	ppm

15:59:49	6.32	36.1	mV	285	uS	143	ppm	143	ppm
15:59:50	6.32	36.1	mV	285	uS	143	ppm	143	ppm
15:59:51	6.32	36.1	mV	284	uS	142	ppm	143	ppm
15:59:52	6.32	36.1	mV	284	uS	142	ppm	143	ppm
15:59:53	6.32	36.1	mV	284	uS	142	ppm	143	ppm
15:59:54	6.32	36.1	mV	284	uS	142	ppm	143	ppm
15:59:55	6.32	36.1	mV	284	uS	142	ppm	143	ppm
15:59:56	6.32	36.1	mV	283	uS	142	ppm	142	ppm
15:59:57	6.32	36.1	mV	283	uS	142	ppm	142	ppm
15:59:58	6.32	36.1	mV	283	uS	142	ppm	142	ppm
15:59:59	6.32	36.1	mV	282	uS	141	ppm	142	ppm
16:00:00	6.32	36.1	mV	283	uS	142	ppm	142	ppm
16:00:01	6.32	36.1	mV	283	uS	142	ppm	142	ppm
16:00:02	6.32	36.2	mV	282	uS	141	ppm	142	ppm
16:00:03	6.32	36.2	mV	281	uS	141	ppm	141	ppm
16:00:04	6.32	36.1	mV	281	uS	141	ppm	141	ppm
16:00:05	6.32	36.2	mV	281	uS	141	ppm	141	ppm
16:00:06	6.32	36.2	mV	281	uS	141	ppm	141	ppm
16:00:07	6.32	36.2	mV	280	uS	140	ppm	141	ppm
16:00:08	6.32	36.2	mV	279	uS	140	ppm	140	ppm
16:00:09	6.32	36.2	mV	279	uS	140	ppm	140	ppm
16:00:10	6.32	36.2	mV	280	uS	140	ppm	141	ppm
16:00:11	6.32	36.2	mV	280	uS	140	ppm	141	ppm
16:00:12	6.32	36.2	mV	280	uS	140	ppm	141	ppm
16:00:13	6.32	36.2	mV	279	uS	140	ppm	140	ppm
16:00:14	6.32	36.2	mV	279	uS	140	ppm	140	ppm
16:00:15	6.32	36.2	mV	279	uS	140	ppm	140	ppm
16:00:16	6.32	36.2	mV	279	uS	140	ppm	140	ppm
16:00:17	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:18	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:19	6.32	36.2	mV	279	uS	140	ppm	140	ppm
16:00:20	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:21	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:22	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:23	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:24	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:25	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm

16:00:26	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:27	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:28	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:29	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:30	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:31	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:32	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:33	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:34	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:35	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:36	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:37	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:38	6.32	36.2	mV	278	uS	139	ppm	140	ppm
16:00:39	6.32	36.2	mV	276	uS	138	ppm	139	ppm
16:00:40	6.32	36.2	mV	276	uS	138	ppm	139	ppm
16:00:41	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:42	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:43	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:44	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:45	6.32	36.2	mV	277	uS	139	ppm	139	ppm
16:00:46	6.32	36.2	mV	276	uS	138	ppm	139	ppm
16:00:47	6.32	36.2	mV	276	uS	138	ppm	139	ppm
16:00:48	6.32	36.2	mV	276	uS	138	ppm	139	ppm
16:00:49	6.32	36.2	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:00:50	6.32	36.2	mV	276	uS	138	ppm	139	ppm
16:00:51	6.32	36.2	mV	276	uS	138	ppm	139	ppm
16:00:52	6.32	36.2	mV	276	uS	138	ppm	139	ppm
16:00:53	6.32	36.2	mV	276	uS	138	ppm	139	ppm
16:00:54	6.32	36.2	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:00:55	6.32	36.2	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:00:56	6.32	36.2	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:00:57	6.32	36.2	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:00:58	6.32	36.2	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:00:59	6.32	36.2	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:00	6.32	36.2	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:01:01	6.32	36.2	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:01:02	6.32	36.2	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm

16:01:03	6.32	36.2	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:04	6.32	36.3	mV	273	uS	137	ppm	137	ppm
16:01:05	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:06	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:07	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:08	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:09	6.32	36.3	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:01:10	6.32	36.3	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:01:11	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:12	6.32	36.3	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:01:13	6.32	36.3	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:01:14	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:15	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:16	6.32	36.3	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:01:17	6.32	36.3	mV	275	uS	138	ppm	138	ppm
16:01:18	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:19	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:20	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:21	6.32	36.3	mV	274	uS	137	ppm	138	ppm
16:01:22	6.32	36.3	mV	273	uS	137	ppm	137	ppm
16:01:23	6.32	36.3	mV	273	uS	137	ppm	137	ppm
16:01:24	6.32	36.3	mV	273	uS	137	ppm	137	ppm
16:01:25	6.32	36.3	mV	272	uS	136	ppm	137	ppm
16:01:26	6.32	36.3	mV	272	uS	136	ppm	137	ppm
16:01:27	6.32	36.3	mV	271	uS	136	ppm	136	ppm
16:01:28	6.32	36.3	mV	271	uS	136	ppm	136	ppm
16:01:29	6.32	36.3	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:30	6.32	36.3	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:31	6.32	36.3	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:32	6.32	36.3	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:33	6.32	36.3	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:34	6.32	36.3	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:35	6.32	36.3	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:36	6.32	36.3	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:37	6.32	36.3	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:38	6.32	36.3	mV	268	uS	134	ppm	135	ppm
16:01:39	6.32	36.3	mV	267	uS	134	ppm	134	ppm

16:01:40	6.32	36.3	mV	268	uS	134	ppm	135	ppm
16:01:41	6.32	36.3	mV	268	uS	134	ppm	135	ppm
16:01:42	6.32	36.3	mV	268	uS	134	ppm	135	ppm
16:01:43	6.32	36.3	mV	268	uS	134	ppm	135	ppm
16:01:44	6.32	36.3	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:45	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:46	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:47	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:48	6.32	36.4	mV	271	uS	136	ppm	136	ppm
16:01:49	6.32	36.4	mV	272	uS	136	ppm	137	ppm
16:01:50	6.32	36.4	mV	272	uS	136	ppm	137	ppm
16:01:51	6.32	36.4	mV	271	uS	136	ppm	136	ppm
16:01:52	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:01:53	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:54	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:55	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:56	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:57	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:58	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:01:59	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:00	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:01	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:02:02	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:02:03	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:04	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:05	6.32	36.4	mV	271	uS	136	ppm	136	ppm
16:02:06	6.32	36.4	mV	271	uS	136	ppm	136	ppm
16:02:07	6.32	36.4	mV	271	uS	136	ppm	136	ppm
16:02:08	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:09	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:02:10	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:02:11	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:02:12	6.32	36.4	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:02:13	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:14	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:15	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:16	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm

16:02:17	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:18	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:19	6.32	36.4	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:20	6.32	36.4	mV	271	uS	136	ppm	136	ppm
16:02:21	6.32	36.5	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:22	6.32	36.5	mV	270	uS	135	ppm	136	ppm
16:02:23	6.32	36.5	mV	269	uS	135	ppm	135	ppm
16:02:24	6.32	36.5	mV	268	uS	134	ppm	135	ppm
16:02:25	6.32	36.5	mV	267	uS	134	ppm	134	ppm
16:02:26	6.32	36.5	mV	267	uS	134	ppm	134	ppm
16:02:27	6.32	36.5	mV	266	uS	133	ppm	134	ppm
16:02:28	6.32	36.5	mV	266	uS	133	ppm	134	ppm
16:02:29	6.32	36.5	mV	265	uS	133	ppm	133	ppm
16:02:30	6.32	36.5	mV	266	uS	133	ppm	134	ppm
16:02:31	6.32	36.5	mV	266	uS	133	ppm	134	ppm
16:02:32	6.32	36.5	mV	266	uS	133	ppm	134	ppm
16:02:33	6.32	36.5	mV	266	uS	133	ppm	134	ppm
16:02:34	6.32	36.5	mV	265	uS	133	ppm	133	ppm
16:02:35	6.32	36.5	mV	265	uS	133	ppm	133	ppm
16:02:36	6.32	36.5	mV	265	uS	133	ppm	133	ppm
16:02:37	6.32	36.5	mV	265	uS	133	ppm	133	ppm
16:02:38	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:39	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:40	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:41	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:42	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:43	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:44	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:45	6.32	36.5	mV	264	uS	132	ppm	133	ppm
16:02:46	6.32	36.5	mV	264	uS	132	ppm	133	ppm
16:02:47	6.32	36.5	mV	264	uS	132	ppm	133	ppm
16:02:48	6.32	36.5	mV	264	uS	132	ppm	133	ppm
16:02:49	6.32	36.5	mV	264	uS	132	ppm	133	ppm
16:02:50	6.32	36.5	mV	264	uS	132	ppm	133	ppm
16:02:51	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:52	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:53	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm

16:02:54	6.32	36.5	mV	263	uS	132	ppm	132	ppm
16:02:55	6.32	36.5	mV	262	uS	131	ppm	132	ppm
16:02:56	6.32	36.5	mV	262	uS	131	ppm	132	ppm
16:02:57	6.32	36.5	mV	262	uS	131	ppm	132	ppm
16:02:58	6.32	36.5	mV	261	uS	131	ppm	131	ppm
16:02:59	6.32	36.5	mV	260	uS	130	ppm	131	ppm
16:03:00	6.32	36.5	mV	260	uS	130	ppm	131	ppm
16:03:01	6.32	36.5	mV	261	uS	131	ppm	131	ppm
16:03:02	6.32	36.5	mV	261	uS	131	ppm	131	ppm
16:03:03	6.32	36.5	mV	260	uS	130	ppm	131	ppm
16:03:04	6.32	36.5	mV	260	uS	130	ppm	131	ppm
16:03:05	6.32	36.5	mV	261	uS	131	ppm	131	ppm
16:03:06	6.32	36.5	mV	261	uS	131	ppm	131	ppm
16:03:07	6.32	36.5	mV	260	uS	130	ppm	131	ppm
16:03:08	6.32	36.5	mV	260	uS	130	ppm	131	ppm
16:03:09	6.32	36.5	mV	259	uS	130	ppm	130	ppm
16:03:10	6.32	36.5	mV	258	uS	129	ppm	130	ppm
16:03:11	6.32	36.6	mV	258	uS	129	ppm	130	ppm
16:03:12	6.32	36.6	mV	258	uS	129	ppm	130	ppm
16:03:13	6.32	36.6	mV	259	uS	130	ppm	130	ppm
16:03:14	6.32	36.6	mV	259	uS	130	ppm	130	ppm
16:03:15	6.32	36.6	mV	259	uS	130	ppm	130	ppm
16:03:16	6.32	36.6	mV	259	uS	130	ppm	130	ppm
16:03:17	6.32	36.6	mV	259	uS	130	ppm	130	ppm
16:03:18	6.32	36.6	mV	259	uS	130	ppm	130	ppm
16:03:19	6.32	36.6	mV	259	uS	130	ppm	130	ppm
16:03:20	6.32	36.6	mV	258	uS	129	ppm	130	ppm
16:03:21	6.32	36.6	mV	258	uS	129	ppm	130	ppm
16:03:22	6.31	36.6	mV	258	uS	129	ppm	130	ppm
16:03:23	6.31	36.6	mV	257	uS	129	ppm	129	ppm
16:03:24	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:25	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:26	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:27	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:28	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:29	6.31	36.6	mV	257	uS	129	ppm	129	ppm
16:03:30	6.31	36.6	mV	257	uS	129	ppm	129	ppm

16:03:31	6.31	36.6	mV	258	uS	129	ppm	130	ppm
16:03:32	6.31	36.6	mV	257	uS	129	ppm	129	ppm
16:03:33	6.31	36.6	mV	257	uS	129	ppm	129	ppm
16:03:34	6.31	36.6	mV	257	uS	129	ppm	129	ppm
16:03:35	6.31	36.6	mV	257	uS	129	ppm	129	ppm
16:03:36	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:37	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:38	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:39	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:40	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:41	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:42	6.31	36.6	mV	256	uS	128	ppm	129	ppm
16:03:43	6.31	36.6	mV	255	uS	128	ppm	128	ppm
16:03:44	6.31	36.6	mV	255	uS	128	ppm	128	ppm
16:03:45	6.31	36.6	mV	255	uS	128	ppm	128	ppm
16:03:46	6.31	36.6	mV	255	uS	128	ppm	128	ppm
16:03:47	6.31	36.6	mV	254	uS	127	ppm	128	ppm
16:03:48	6.31	36.6	mV	254	uS	127	ppm	128	ppm
16:03:49	6.31	36.6	mV	254	uS	127	ppm	128	ppm
16:03:50	6.31	36.6	mV	254	uS	127	ppm	128	ppm
16:03:51	6.31	36.6	mV	254	uS	127	ppm	128	ppm
16:03:52	6.31	36.6	mV	253	uS	127	ppm	127	ppm
16:03:53	6.31	36.6	mV	253	uS	127	ppm	127	ppm
16:03:54	6.31	36.6	mV	253	uS	127	ppm	127	ppm
16:03:55	6.31	36.6	mV	253	uS	127	ppm	127	ppm
16:03:56	6.31	36.6	mV	253	uS	127	ppm	127	ppm
16:03:57	6.31	36.6	mV	253	uS	127	ppm	127	ppm
16:03:58	6.31	36.6	mV	253	uS	127	ppm	127	ppm
16:03:59	6.31	36.6	mV	253	uS	127	ppm	127	ppm
16:04:00	6.31	36.6	mV	252	uS	126	ppm	127	ppm
16:04:01	6.31	36.6	mV	252	uS	126	ppm	127	ppm
16:04:02	6.31	36.6	mV	252	uS	126	ppm	127	ppm
16:04:03	6.31	36.6	mV	252	uS	126	ppm	127	ppm
16:04:04	6.31	36.6	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:05	6.31	36.6	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:06	6.31	36.6	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:07	6.31	36.6	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm

16:04:08	6.31	36.6	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:09	6.31	36.6	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:10	6.31	36.6	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:11	6.31	36.6	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:12	6.31	36.6	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:13	6.31	36.6	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:14	6.31	36.6	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:15	6.31	36.6	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:16	6.31	36.6	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:17	6.31	36.6	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:18	6.31	36.7	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:19	6.31	36.7	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:20	6.31	36.7	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:21	6.31	36.7	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:22	6.31	36.7	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:23	6.31	36.7	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:24	6.31	36.7	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:25	6.31	36.7	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:26	6.31	36.7	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:27	6.31	36.7	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:28	6.31	36.7	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:29	6.31	36.7	mV	251	uS	126	ppm	126	ppm
16:04:30	6.31	36.7	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:31	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:32	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:33	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:34	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:35	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:36	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:37	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:38	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:39	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:40	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:41	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:42	6.31	36.7	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:43	6.31	36.7	mV	250	uS	125	ppm	126	ppm
16:04:44	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm

16:04:45	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:04:46	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:04:47	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:48	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:49	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:50	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:51	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:52	6.31	36.7	mV	249	uS	125	ppm	125	ppm
16:04:53	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:54	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:55	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:56	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:57	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:58	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:04:59	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:00	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:01	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:02	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:05:03	6.31	36.7	mV	248	uS	124	ppm	125	ppm
16:05:04	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:05	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:06	6.31	36.7	mV	246	uS	123	ppm	124	ppm
16:05:07	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:08	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:09	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:10	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:11	6.31	36.7	mV	246	uS	123	ppm	124	ppm
16:05:12	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:13	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:14	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:15	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:16	6.31	36.7	mV	247	uS	124	ppm	124	ppm
16:05:17	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:18	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:19	6.31	36.7	mV	246	uS	123	ppm	124	ppm
16:05:20	6.31	36.7	mV	246	uS	123	ppm	124	ppm
16:05:21	6.31	36.7	mV	246	uS	123	ppm	124	ppm

16:05:22	6.31	36.7	mV	246	uS	123	ppm	124	ppm
16:05:23	6.31	36.7	mV	246	uS	123	ppm	124	ppm
16:05:24	6.31	36.7	mV	246	uS	123	ppm	124	ppm
16:05:25	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:26	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:27	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:28	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:29	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:30	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:31	6.31	36.8	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:32	6.31	36.8	mV	246	uS	123	ppm	124	ppm
16:05:33	6.31	36.8	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:34	6.31	36.8	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:35	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:36	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:37	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:38	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:39	6.31	36.8	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:40	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:41	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:42	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:43	6.31	36.7	mV	245	uS	123	ppm	123	ppm
16:05:44	6.31	36.7	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:45	6.31	36.8	mV	243	uS	122	ppm	122	ppm
16:05:46	6.31	36.8	mV	243	uS	122	ppm	122	ppm
16:05:47	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:48	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:49	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:50	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:51	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:52	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm
16:05:53	6.31	36.8	mV	244	uS	122	ppm	123	ppm

BAB 5

KESIMPULAN

Fabrikasi elektroda karbon untuk sistem *Capasitive Deionization* (CDI) telah berhasil dilakukan. Pada uji FTIR terlihat bahwa tidak ada serapan pada gugus OH yang menandakan telah terjadi ikatan silang pada PVA dan asam sitrat. Pengamatan morfologi permukaan elektroda karbon menggunakan uji SEM EDX dapat merekam kandungan utama pada elektroda adalah karbon (C). Pada pengujian CV diperoleh nilai kapasitansi spesifik variasi elektroda T100, T110, dan T120 berturut-turut adalah 227.7, 209.5, dan 221.4 mF/g. Pada pengujian sistem CDI yang menggunakan elektroda karbon T100 mampu mengurangi kandungan NaCl sebesar 52.71% sedangkan untuk elektroda T110 diperoleh 35.04% dan pada elektroda T120 memberikan hasil 49.15%.

DAFTAR PUSTAKA

- Berliana S. R, Liani, Golbert S, Maysaroh siti, N. T. Jelita (2012) Arang Aktif, <http://www.sharemyeyes.com/2013/06/arang-aktif.html>.
- Broseus, R., Cigana, J., Barbeau, B., Martines, C.D. & Suty, H. (2006), “Removal of Total Dissolved solids, Nitrates and Ammonium Ions from Drinking Water Using Charge-Barrier Capacitive Deionisation”, *Desalination*, 249, 217-223.
- C.J. Gabelich, T.D. Tran, I.H. (2002) “Mel” Suffet, Electrosorption of inorganic salts from aqueous solution using carbon aerogels, *Environ. Sci. Technol.* 36. 3010–3019.
- Department of Economic and Social Affairs, (2004), World population, population division, New York. United Nations.
- Dietz, Steven (2004), “Improved Electrodes for Capacitive Deionization”, *Proceedings of the 2004 NSF Design, Service and Manufacturing Grantees and Research Conference, Birmingham, AL, January*.
- Ellys, K. (2014), *Optimasi Adsorpsi Ion NaCl pada Elektroda Capacitive Deionization dengan Membrane Ion Exchange*, Tesis M. Si., ITS, Surabaya.
- Fujioka, R, L. P. Wang, G. Dodbiba, T. Fujita (2013), “Application of progressive freeze concentration for desalination”, *Desalination*, 319, 33-37.
- Li Haibo, Zou L, Pan L, Sun Z (2010). “Using grapheme nano-flakes as electrodes to remove ferric ion by capacitive deionization”, *Separation and purification technology*, 75, 8-14.
- Lund, H. & Hammerich, O. 2001. Organic electrochemistry. Fourth Edition, Revised and Expanded, New York: Marcel Dekker, Inc.
- Marcus, Y., 1994. A simple empirical model describing the thermodynamics of hydration of ions of widely varying charges, sizes, and shapes. *Biophys. Chem.* 51, 111–127. doi:10.1016/0301-22(94)00051-4
- Oren, Y. (2008), “Capacitive deionization (CDI) for desalination and water treatment—past, present and future (a review)”, *Desalination*, 228, 10–29.

- Park B.H, Kim Yu-Jin, Park Jin-Soo, Choi J (2011) Capacitive deionization using a carbon elektroda prepared with water-soluble poly(vinyl alcohol) binder. *Journal of industrial and engineering chemistry*. 17. 717-722.
- Park, K.K., Lee, J.B., Park, P.Y., Yoon, S.W., Moon, J.S., Eum, H.M. & Lee, C.W. (2007), "Development of a Carbon Sheet Electrode for Electrosorption Desalination", *Desalination*, 206, 86-91.
- Porada, R. Zhao, A. van der Wall, V. Presser, P.M. Biesheuvel, (2013), Review on the science and technology of water desalination by capacitive deionization. *Progress in materials science*.
- Riyanto, Ph. D. (2012), *Elektrokimia dan Aplikasinya*, Graha ilmu. Yogyakarta.
- Ross, S. D., Finkelstein, M.& Rudd, E.F. 1975. *Anodic oxidation*. New York: Academic Press.
- Sembiring, M.T. (2003), *Arang Aktif (Pengenalalan dan Proses Pembuatannya)*, Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Vrana, N.E., (2009). *Use of Poly Vinyl Alcohol (PVA) Cryogelation for Tissue Engineering: Composites, Scaffold Formation and Cell Encapsulation*. School of Mechanical and Manufacturing Engineering, Dublin City University, Ireland.

BIOGRAFI PENULIS



Boby Willem Nulik lahir di kupang, 11 juli 1988, Penulis adalah anak keempat dari lima bersaudara. Penulis menempuh pendidikan formal di SD Inpres Fatufeto 1, SMPN 2 Kupang, SMAN 2 Kupang dan S1 Jurusan Fisika FST Universitas Nusa Cendana. Penulis diterima di Jurusan Fisika FST Universitas Nusa Cendana pada tahun 2006 melalui jalur PMDK. Bidang minat yang ditekuni oleh penulis selama kuliah adalah bidang Fisika Instrumentasi. Penulis mengambil S2 pada jurusan dan bidang minat yang sama di Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2014. Selama kuliah, penulis sempat mengikuti seminar dan publikasi ilmiah. Penulis dengan senang hati mau berdiskusi lebih lanjut terkait topik tesis ini. Untuk itu, penulis dapat dihubungi melalui email: boby13@mhs.physics.its.ac.id.